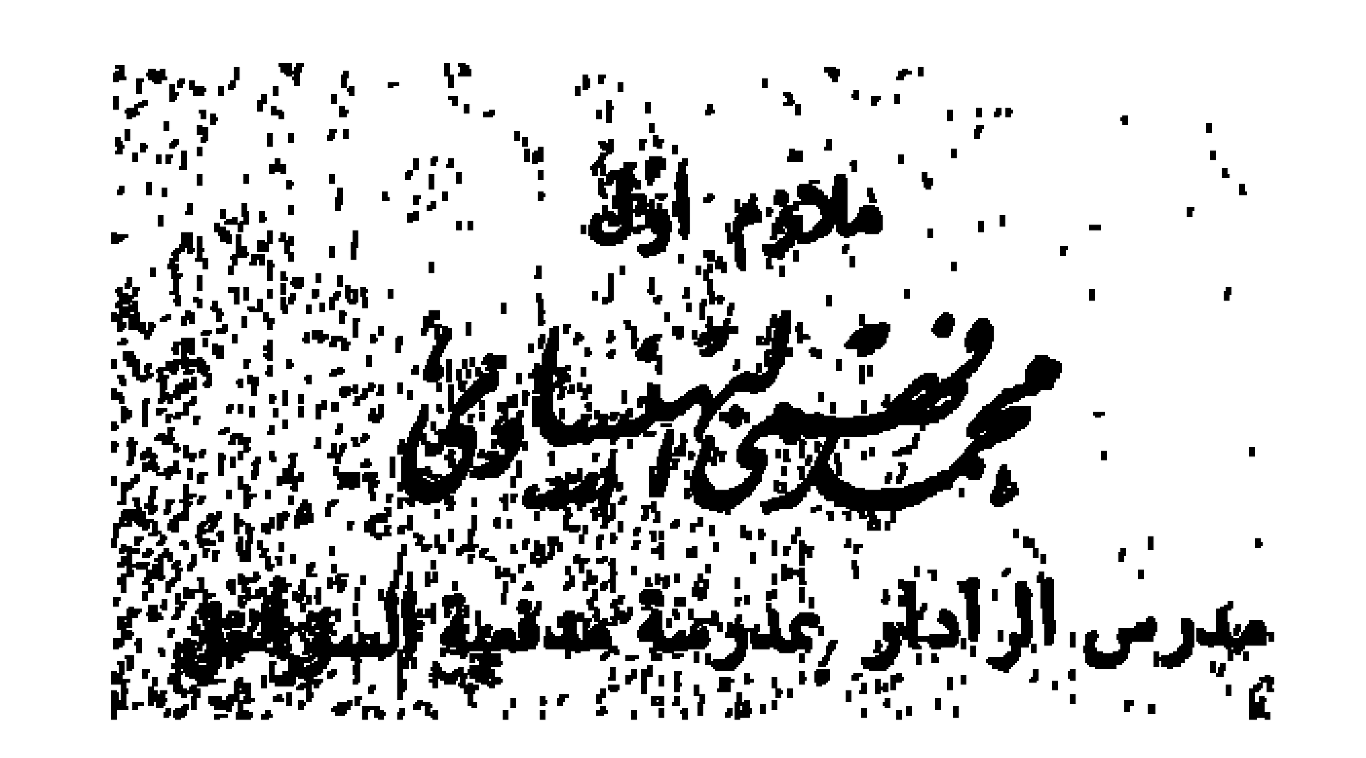
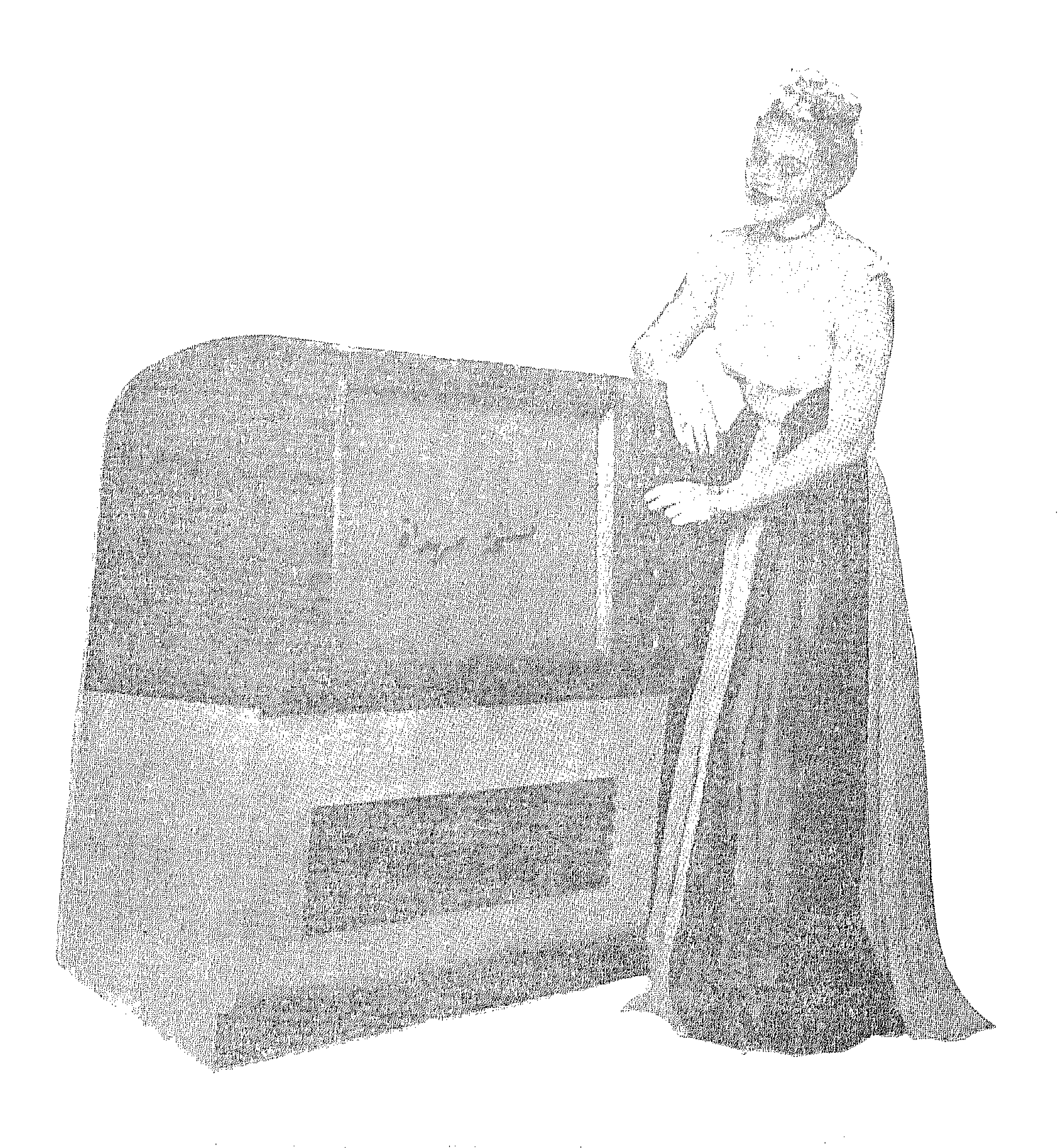

الرادار
ملازم أول محمد فهمي البهنساوى بالبحرية الملكية

السلاح السرى الذى كسب الحرب والسلم



نشر الكتاب
بتصديق خاص من
ادارة العمليات الحربية للجيش المصرى
طبع وجلد بمطبعة البصير بالاسكندرية

الكتاب القادم : التليفزيون



أحدث أجهزة التليفزيون

الى مقام حضرة صاحب الجلالة الملك

القائد الاعلى لجيش مصر

أتشرف برفع هذا الكتاب، وهو الثمرة الاولى لمجهود يعد متواضعاً لو قورن بما يجب ان نبذله نحن ضباط جيش مصر فى هذه الآونة لنرفع مستواه علمياً وعملياً، وبذلك نقضى على تلك الاسطورة البالية التى كادت تنتشر عن جمود علمى بين ضباطه. وان كان هناك حافز قد دفعنى الى وضع مثل هذا الكتاب فهى روح المليك التى توحى دائما بأن الكفاح العلمى هو أحد الاسس المتينة التى تبنى عليها سمعة الامة.

والجيش، وهو المظهر الرسمى الاول للدولة، لخليق بأن يكون المساهم الاول فى بناء المجد العلمى للشعب العظيم. ففى الدول العظمى تخرج أعظم الاكتشافات العلمية من الاوساط العسكرية التى اعتادت ان تحتضن كبار العلماء وان تنفق على ابحاثهم وتواليهم بكل ضروب الرعاية الى أن تتكلل اعمالهم بالنجاح التام. وتأتى الامة بعد ذلك فتشارك، وهى فخورة، جيشها فى الاستفادة مما يكون قد انتج من الاختراعات التى تعدل لتلائم الحياة المدنية.

وانى اذ أدعو الله عز وجل ان يغيلنى فخر نجاح هذا الكتاب ، وبذلك
أكون قد ساهمت بمجهودى الصغير فى تأدية رسالة الجيش العلمية ، أدعو
المولى مرة اخرى أن يغيلنى شرف رضاء المليك والوطن عن هذا المجهود .
وهذه خطوة سوف تتبعها خطوات أوسع بعون الله وتشجيع الملك .

ملازم أول

محمد فهمى البهنساوى

مدفعية السواحل الملكية

مقدمة بقلم حضرة صاحب السعادة الدكتور علي مصطفى مشرفة باشا
وكيل جامعة فؤاد الأول وعميد كلية العلوم

إنه ليسرني أن أقدم هذا الكتاب الى جمهور القراء ، فقليل منا من يجعل المسائل العلمية موضع اهتمامه وخاصة إذا كانت هذه المسائل تنطوي على دقة فنية كما ينطوي الرادار ، وأقل من هؤلاء من يتخصصون في هذه النواحي الفنية من العلوم التطبيقية ثم يقدمون للقراء كتاباً مبسطاً كهذا الكتاب . واني لفخور جداً بتشجيع حضرة الملازم اول محمد فهمي البهنساوي مؤمل ان يحذو الشباب المصري حذوه ومؤمل كذلك ان يقبل القراء على كتابه بدلا من اقبال بعضهم على كثير مما لا طائل تحته من حصائد مطابعنا كل يوم .

ولست أخوض في أمر الناحية العلمية أو الفنية من هذا الكتاب ، فكلاهما قد حذقه المؤلف وكلاهما يقدمه حضرته الى القراء بطريقته الخاصة . ولكني احب أن اقرر هنا أني لا انتظر من كل شاب ان يصل الى مرحلة التخصص في نواحي العلم المختلفة فقد صار هذا ضرباً من المستحيل ، ولكن الذي انتظره والذي يحق للأمة المصرية ان تنتظره من شبابها هو الالمام بالأمور الأساسية والمبادىء الهامة التي انطوى عليها تقدم العلم في العصر الحديث : فمثلا

يجب أن يكون الالكترون او الكهرب معروفاً لدى شبابنا المتعلم فهو مثلاً معرفته اهم من معرفة كثير مما يعني به المتعلمون منا .

ما هو الالكترون وكيف كشف عنه ؟ ان حضرة المؤلف قد خصص فصلا كاملا لهذا البحث الاساسي من بحوث علم الطبيعة ولست اريد ان اخوض في التفاصيل الفنية المحضة فنظرتي الى هذه الامور كنظرتي الى غيرها من الامور العلمية تنطوي على اللذة الفكرية التي تنشأ عن تتبع رواية مجيدة ، بل قصة شائقة من قصص انتصار الفكر البشري . فهذا السير **طومسون** في معمله يقول بوجود هذا الجسم المتناهي في الصغر ويبني قوله على تجارب تجرى في انابيب زجاجية لا يكاد المرء يعبأ بمنظرها او قوتها ، ثم يأتي **ملكان** في العقد الثاني من هذا القرن فيمسك بتلابيب كل كهرب على حدة وينبئنا بصفاته وخواصه بدرجة من الدقة تفوق الدقة العادية في قياس الاطوال والاوزان . أليس هذا فتحاً عظيماً في ذاته وبصرف النظر عن تطبيقه وماله من اثر في الاختراعات المختلفة كالرادار وغيره ؟

ولقد ذكر حضرة المؤلف في مقدمة الكتاب ان البحوث التمهيدية في موضوع الرادار اجريت في المناطق الساحلية شرقي وجنوبي انجلترا ، وانني لأرجو ان نرى قريباً اليوم الذي تجري فيه امثال هذه التجارب الطبيعية على السواحل المصرية اذ ما من شك في ان استقلالنا ووحدتنا كأمة قد صارا رهن مقدرتنا الفنية

وما ترتكز عليه من أسس علمية شأننا في ذلك شأن الامم جميعاً .
ومهما يكن من امر رجال السياسة فينا، فلو انهم جمعوا بين فصاحة سحبان بن وائل ودهاء معاوية لعجزوا عن الاحتفاظ بسلامة وطننا ما لم يتوافر لدينا الاساس العلمي والفني .

من أجل هذا كله أرجو لهذا الكتاب شيوعاً بين المصريين خاصة وقراء العربية عامة ، كما أرجو لمؤلفه كل نجاح وتوفيق في جهوده بعون الله ؟

دكتور

علی مصطفى مشرفة

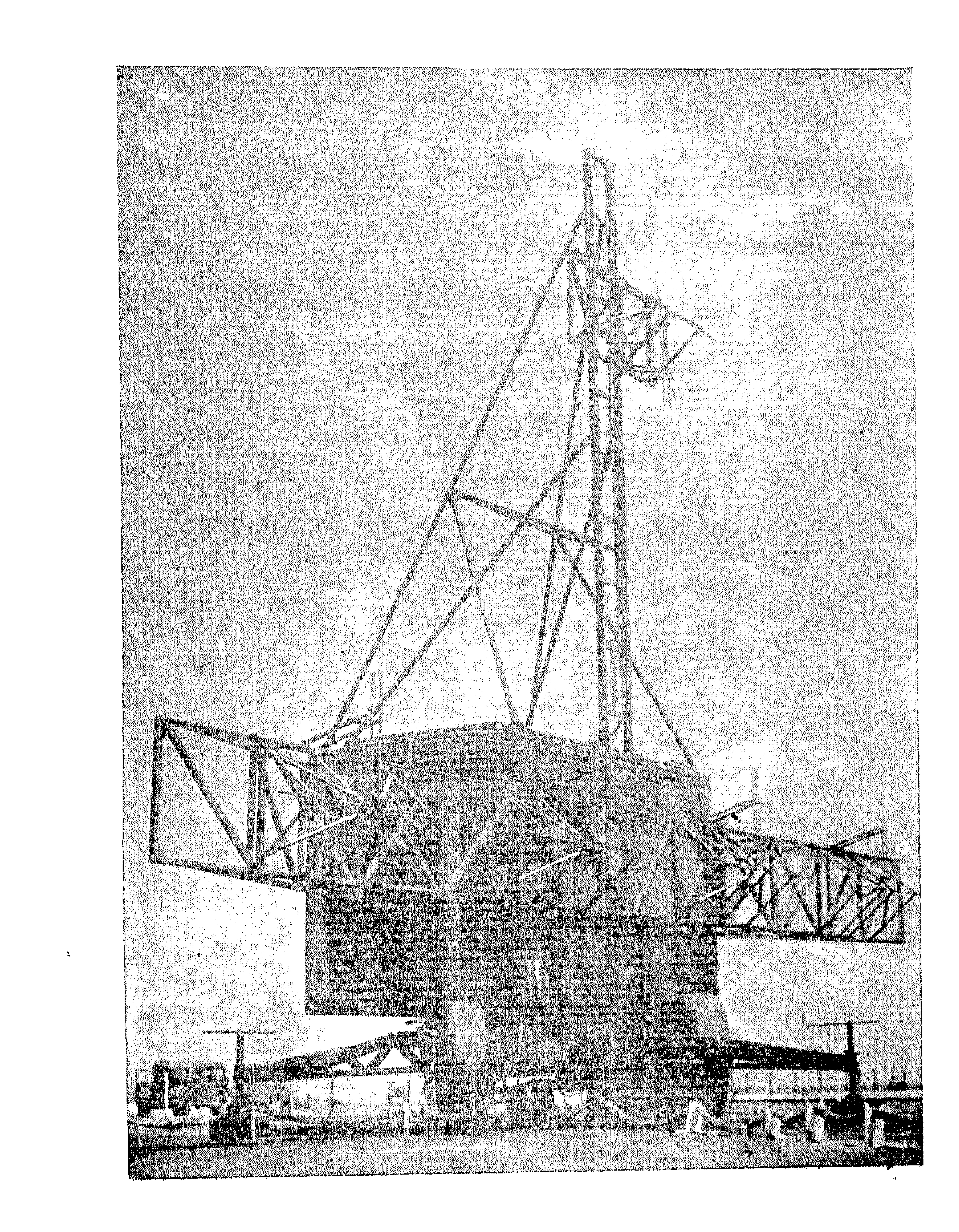
محتويات الكتاب

	الصفحة
مقدمة الكتاب	١
الفصل الاول : الموجات	٧
الفصل الثانى : ماهو الرادار	١٥
الفصل الثالث : قياس المسافات بطريقة صدى الصوت	٢٧
الفصل الرابع : الف باء الرادار	٣٦
الفصل الخامس : التركيب البنائى للذرة والالكترونات	٤٣
الفصل السادس : انبوبة شعاع المهبط	٥٥
الفصل السابع : قياس الميكروثانية	٦٨
الفصل الثامن : كيف يقيس الرادار مسافات الاهداف	٨٣
الفصل التاسع : هوائيات الرادار	٩٧
الفصل العاشر : كيف يقيس الرادار اتجاهات الاهداف	١٠٥
الفصل الحادي عشر : مقاييس الرادار	١١٧
الفصل الثانى عشر : قصة الميلاد	١٢٥
الفصل الثالث عشر : الرادار فى الحرب	١٧٢
الملحق الاول للفصل الثالث عشر : كيف يضاد الرادار ؟ . .	١٩٥
الملحق الثانى للفصل الثالث عشر : نظام الاقتراب بالرادار . . .	٢١١
الفصل الرابع عشر : الرادار في السلم	٢٢٤
الملحق الاول للفصل الرابع عشر : الاتصال بالقمر بواسطة الرادار	٢٣٣
الملحق الثاني للفصل الرابع عشر : الرادار مكتشف العواصف .	٢٤٦
الفصل الخامس عشر : الرادار فى الطبيعة	٢٥١
خاتمة الكتاب	٢٦٠

دليل الصور

الصفحة

سير روبرت واطسون وات ٢
هوائيات محطات الرادار عند نشوب الحرب في انجلترا ٣
جهاز الرادار « كيوبيد » ١١٩
المرسل للرادار المضاد للطائرات نمرة ١ ماركة ٢ . . . . ١٢٣
المستقبل للرادار المضاد للطائرات نمرة ١ ماركة ٢ . . . . ١٢٧
جهاز الرادار نمرة ٤ ماركة ٣ (للانذار المبكر) ١٣٣
جهاز الرادار نمرة ٣ ماركة ٢ الكندى ١٣٧
رادار الانوار الكاشفة ١٤٠
سير ادوارد ابلتون ١٤٣
رادار الدفاع الساحلى وماكينة ليستر ١٤٥
الماجنترون الأجوف ١٦٥
شاشة جهاز الرادار د ٢ كب ١٨١
اجهزة الرادار في قاذفة قنابل حديثة ١٨٤
محطة « مقابلة أرضية » متنقلة ١٨٦
شاشتا دليلى الموقع في جهاز « مقابلة أرضية » ١٨٨
هوائي جهاز الرادار الذي استخدم في الاتصال القمري ٢٣٤
العدسة المعدنية ٢٤٥
شاشة دليل الموقع في الرادار مكتشف العواصف . . . . ٢٤٧ ، ٢٤٩ ، ٢٥٠



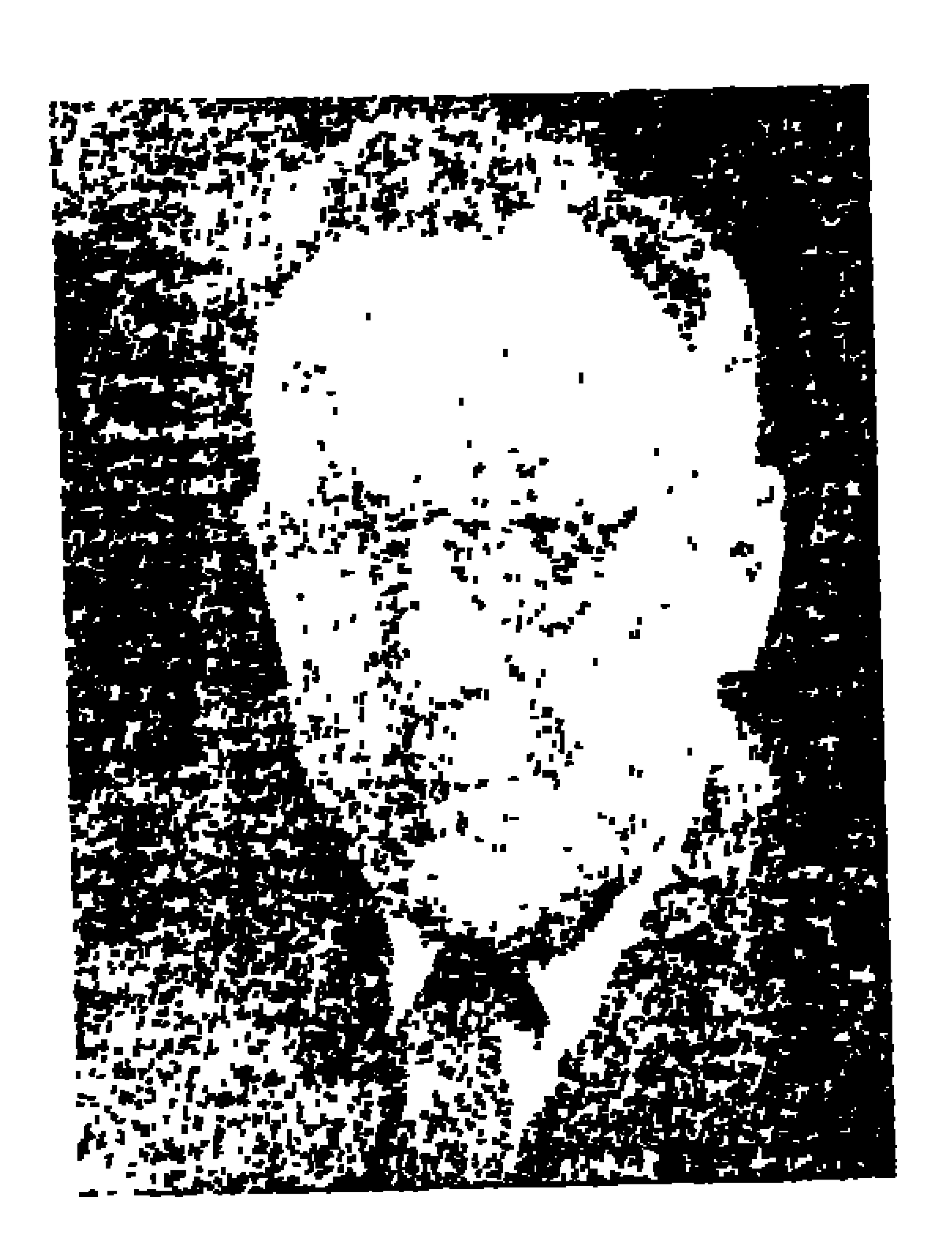
مقدمة الكتاب

أود وأنا أخط الكلمات الاولى في هذا الكتاب أن يفهم الجميع اني أردته أن يكون بسيطاً بكل ما تحتمله هذه الكلمة من معنى . فلقد أصبح الرادار في هذه الايام والكل يتحدثون أو بتعبير أصح يسمعون عنه وكلهم شوق إلى منبع سهل يستقون منه معلومات يستطيعون بها أن يكونوا فكرة عن هذا الاختراع البديع الذي فتح آفاقا جديدة في عالم اللاسلكي وكان أحد العوامل الاساسية التي أكسبت الحلفاء هذه الحرب الاخيرة .

وإني إذ أقدم هذا الكتاب الى جمهور القراء يهمني أن يعرفوا أنهم ليسوا بحاجة الى معلومات خاصة في الكهرباء او اللاسلكي كي يستطيعوا ان يتتبعوا ماجاء به . فإني لم اكتبه ليقرأه العلماء أو الذين تخصصوا في العلوم اللاسلكية انما قصدت ان اهيىء فرصة لكل فرد ذي ثقافة عادية يريد ان يعرف بالتفصيل المبسط ما هو الرادار . وسوف يلاحظ القارىء أني حاولت جهد استطاعتي أن أبعد عن طريقه الاصطلاحات الفنية والرياضيات اللاسلكية بالقدر الذي لا يخل بالقيمة العلمية للكتاب .

وكما يعرف الجميع ليس للعلم وطن ولا جنسية ، والرادار اختراع

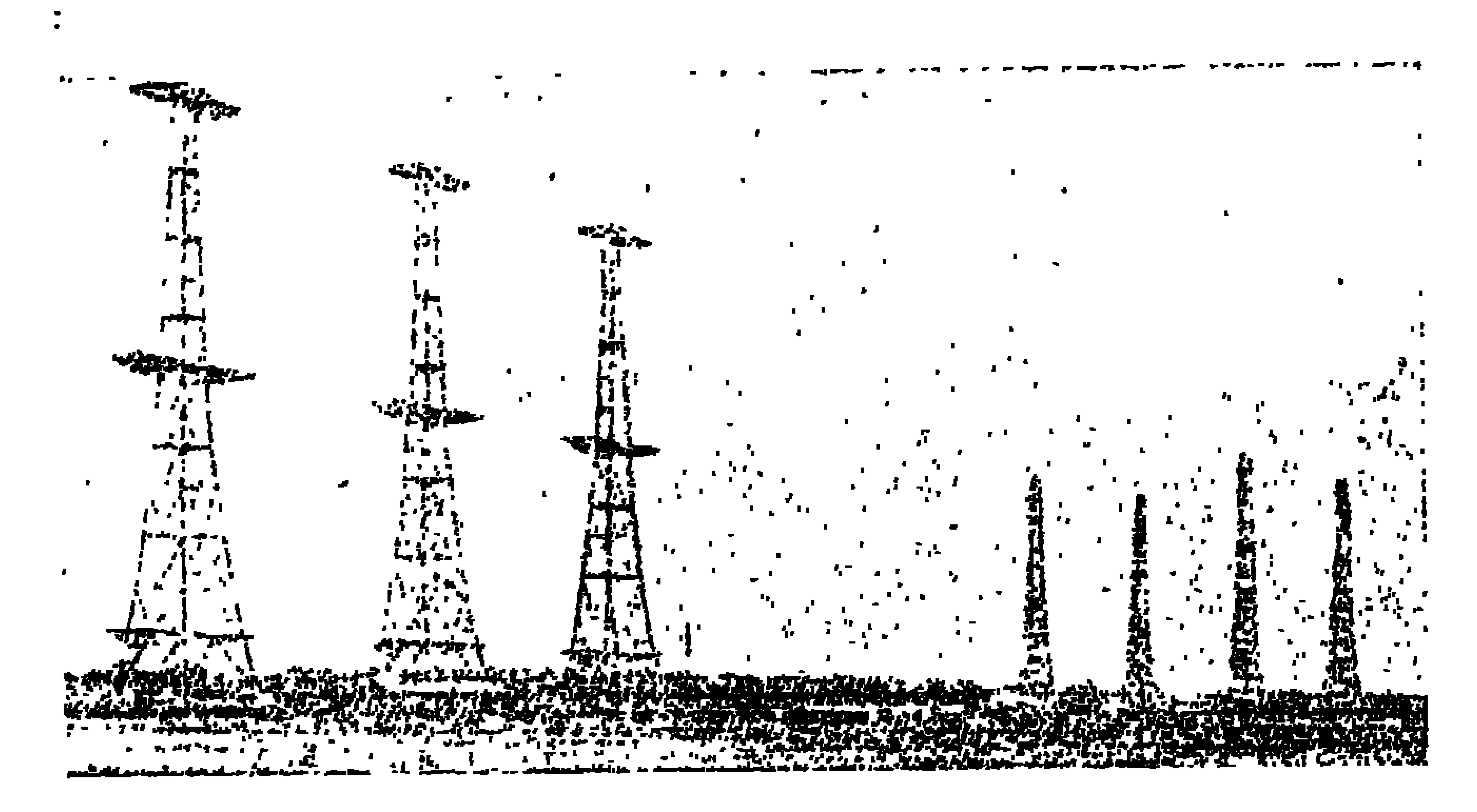
لايستطيع مخلوق منصف ان ينسب فضل ظهوره الى عالم بالذات من دولة خاصة . فلقد خرج الى الوجود نتيجةً لجهود مختلفة مضنية قام بها علماء من جميع الجنسيات. وقصة اختراعه طويلة ومسلية ولذا رأيت ان افرد لها باباً منفصلا في آخر هذا الكتاب، الا ان الامانة العلمية تقتضيني ان أرجع الفضل الأكبر في ظهور الرادار الى مثابرة عالم انجليزي هو السير روبرت واطسون وات Sir Robert Watson Watt ومعاونوه . والنظرية الاساسية للرادار هي شيء معروف لمعظم العلماء من جميع الدول. ولكن أن تكون النظريات معروفة شيء وأن تتطور هذه النظريات الى اختراع عملي شيء آخر . وكان من حسن حظ بريطانيا ان هيأ الله لها من ابنائها من استطاع ان يفوز في هذا السباق العلمي فينجز هذا الاختراع في وقت مناسب . واولئك الذين زاروا



سير روبرت واطسون وات

المناطق الساحلية شرقي وجنوبي انجلترا في السنوات القلائل التي سبقت نشوب الحرب لا بد وقد استولت عليهم الدهشة حين شاهدوا تلك المجموعات الضخمة من الصواري العالية التي تناثرت في كثير من الأماكن وقد ظن الكثيرون انها خاصة بالأجهزة التي تصدر عنها أشعة الموت او تلك الأشعة التي اشيع انها تستطيع ان توقف اي محرك في الهواء او في

البحر او البر . ولم يكن ليخطر ببال احد في ذلك الوقت ان هذه الصواري ان هي الا هوائيات اجهزة الرادار . تلك الاجهزة التي يرجع اليها جل الفضل في كسب معركة بريطانيا عام ١٩٤٠ بل قل في كسب الحرب للحلفاء .



مجموعة من هوائيات محطات الرادار في المناطق الساحلية شرقي وجنوبي انجلترا

ولنتذكر قليلا تلك الايام السوداء التي حلت بنا في مصر ما بين عامي ١٩٤١ و ١٩٤٣ حين كانت طائرات المحور تغير على الاسكندرية والسويس والقاهرة في بعض الاحيان لضرب المنشئات العسكرية البريطانية فتصيب في طريقها الاماكن المأهولة بالسكان . ولنتوجه بالحمد الى الله وبالشكر الى هذه المجموعة الصماء من اجهزة الرادار التي انتشرت على طول الساحل المصري والتي كانت تعطينا الانذار المبكر بقرب حدوث غارات من طائرات معادية او سفن معادية في بعض الاحيان . كان هذا الانذار المبكر سبباً في استعداد رجال المدفعية المضادة للطائرات والانوار الكاشفة ومدفعية

السواحل المصرية كما ساعد على تنبيه المدنيين كى يلجأوا الى المخابىء العامة والخاصة ، ورجال المطافىء والاسعاف كي يكونوا على اهبة العمل السريع .

ولنفكر الآن في معنى هذا الانذار المبكر وفي هذه التقارير التي كانت ترد كل دقيقة تقريباً عن سير الغارة او الهجوم الجوي . لقد مكنتنا من تعيين خط سير الطائرات على خرائط كبيرة كي يُستنتج بعد ذلك بسرعة وبدقة ان كانت هذه الطائرات قد اصبحت تحت مرمى المدفعية المؤثر او لا . والفائدة التي جنيت من مثل هذا الإنذار المبكر في معركة بريطانيا الجوية التي بدأت في صيف ١٩٤٠ اعظم من ان تقدر .

كان الضغط شديداً جداً على ضباط وجنود المدفعية المضادة للطائرات وكانت فترات الراحة التي يتمتعون بها ضئيلة . وكان الجزء الاكبر من الهجمات الجوية يحدث اثناء النهار مع وفود بعض الطائرات المغيرة في الليل كذلك ، ثم انعكس الوضع بعد ذلك فازدادت الهجمات الليلية عنفا وقلت العمليات النهارية. فبدون الانذار المبكر الذي يزود الرادار به رجال المدفعية كان على الجميع ان يبقوا في اماكنهم باستمرار دون ان ينالوا ادنى قسط من الراحة ، الامر الذي قد يسبب انهيار الدفاع الجوي عن بريطانيا انهياراً تاما وما كان يتبع ذلك من كوارث محققة . وفي الحرب العظمى الماضية (١٩١٤ الى ١٩١٨) حين لم يكن هناك رادار ، كان جميع رجال المدفعية المضادة للطائرات يحتلون اماكنهم باستمرار من الغسق الى الفجر متسمعين بآذانهم المجردة ازيز الطائرات والمناطيد . ويمكن لنا ان نتصور هذا الارهاق وتأثيره على الضباط والجنود .

هذا وقد كان عدد الطائرات المقاتلة الانجليزية ضئيلاً جداً لو قورن بالقوة الجوية الالمانية. وبدون الرادار لم يكن في استطاعة هذا العدد البسيط من الطائرات والطيارين القيام بالداوريات المطلوبة على السواحل الشرقية والجنوبية الشرقية لانجلترا . ولكن وجود الرادار مكّن الطائرات من البقاء على الارض الى أن يأتي إنذار باقتراب الطائرات المعادية وخطوط سير هذه الطائرات فتنطلق المقاتلات مما وفر الجهد والطائرات .

ولا يغرب عن البال أن المفاجأة تعتبر عاملا أساسياً في كسب المعارك ، فاذا أنت فاجأت عدوك كسبت نصف المعركة. وكان سبب نجاح عمليات الغزو في نورماندى هو المفاجأة ، كما كان من المحتمل ان يكسب الالمان معركة بريطانيا بالمفاجأة لولا الرادار الذي جعل المفاجأة استحالة بل حولها الى ناحية الانجليز الذين استطاعوا بطائراتهم القليلة ان يلاقوا العدو في الاماكن التي يستطيعون منها إلحاق اعظم الضرر به . وكان من سوء حظ الالمان عدم وصولهم بالرادار الى آخر اشواط البحث العلمي فحرموا من هذا الجهاز الجبار في حين ملكوا من الاختراعات اعظمها واعجبها .

وسوف نرى حين يتقدم بنا هذا الكتاب كيف أن ماسبق ليس هو كل الفوائد التي نجنيها من الرادار . فلقد اثبت انه سلاح قوي في البحر أيضاً فوجوده على المراكب الحربية مكّن الاسطول من ان يتخذ الحيطة من هجمات توجه ضده وان يكسب عنصر المفاجأة في عملياته البحرية ضد المراكب المعادية . كما ان الرادار احال الهجمات الليلية الجوية التي كان يشنها الالمان على بريطانيا هزائم متلاحقة ترنحوا تحت خسائرها الفادحة فأوقفوها

نهائياً . وباستخدامه كذلك تسنى لقاذفات القنابل البريطانية من طراز لانكستر وهاليفكس قذف قنابلها بمنتهى الإحكام على اهدافها مهما كانت حالة الجو مع انتشار الضباب او حتى مع لجوء العدو الى تغطية المنطقة بستائر الدخان وغير ذلك من طرق التمويه . وكما سبق ان ذكرت يعتبر الرادار تطبيقاً عملياً جديداً لنظريات معروفة في اللاسلكي ولم يكن ظهوره إلا نهاية البداية لسلسلة من الاختراعات الاخرى المفيدة . والآن اعتقد اني قد مهدت الطريق تمهيدا كافيا لكي ابدأ في بحث موضوعنا الاساسي . فهيا بنا لنرى على الصفحات القادمة ما هو الرادار وما الذي يفعله وكيف يؤدي عمله وما هي انواعه وواجبات كل نوع ؟

الاسكندرية في اول ديسمبر سنة ١٩٤٦ ملازم أول

محمد فهمى البهنساوى

معلم الرادار بمدرسة مدفعية السواحل الملكية

الفصل الأول

الموجات ....

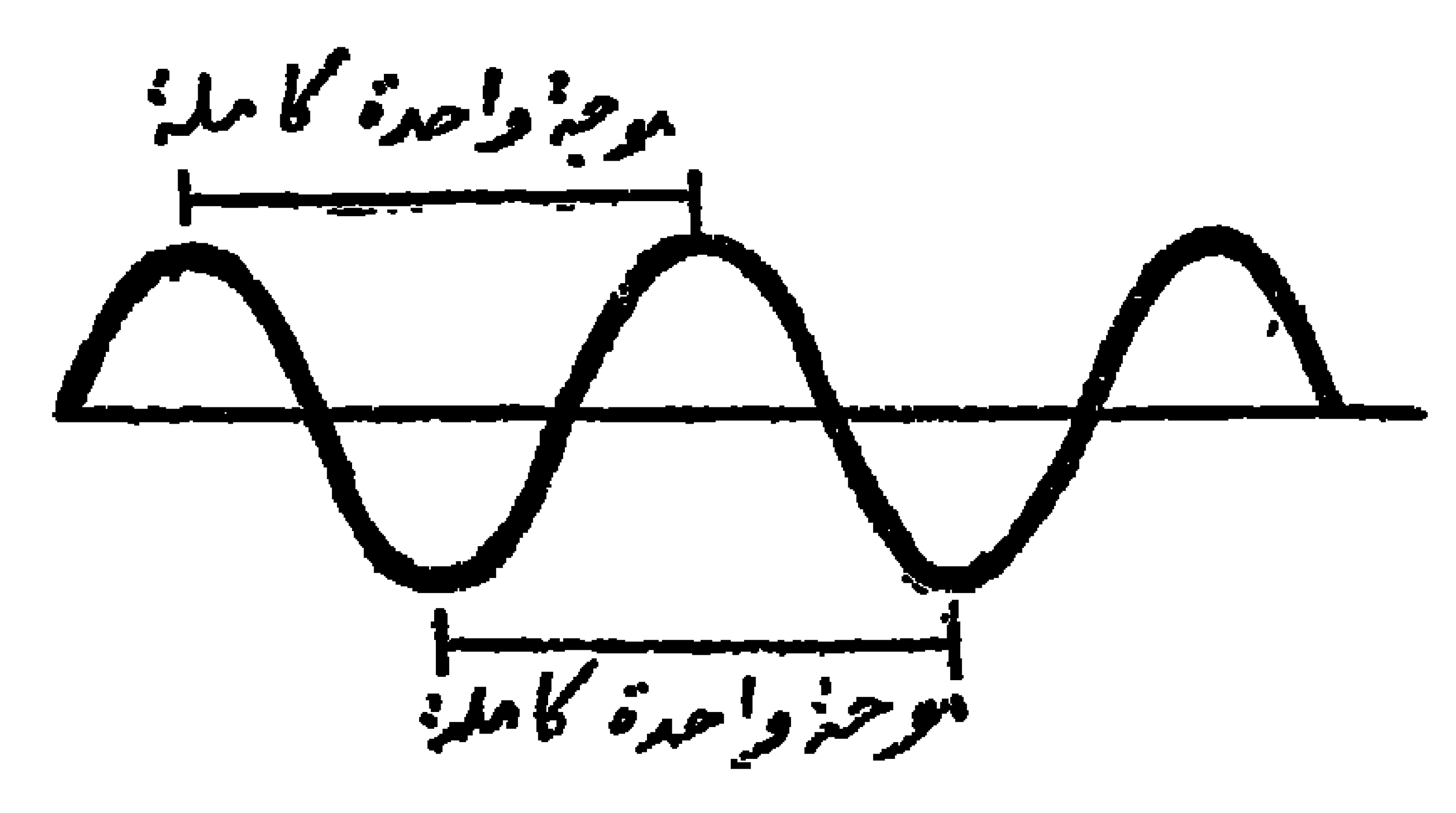
مقدمة: ليس هناك افضل من ان نلم في عرض سريع بأنواع الموجات المختلفة وخصائصها و بذلك نضع اساساً للكلام الذي سيأتي فيما بعد . فالموجات انواع عدة منها موجات الصوت وهي تثير فينا حاسة السمع ، وموجات الضوء وهي تثير حاسة البصر ، وموجات الحرارة وهي التي تشعرنا بالحرارة والبرودة ، والموجات اللاسلكية وهي التي تؤثر على الاجهزة اللاسلكية كأجهزة الراديو مثلا .

الموجات الصوتية : كيف ينشأ الصوت ؟ إن اهتزاز الاجسام التي يصدر عنها الصوت هو في الواقع ما يسببه . وهذه الاهتزازات سريعة جداً لدرجة لا يستطيع الانسان ادراكها . والجسم المهتز الذي ينشأ عنه الصوت يتحرك للامام وللخلف حركات سريعة جداً ، فاذا كان الجسم وسط الهواء دفع جزيئات الهواء الى الامام اثناء اهتزازه للامام فتتضاغط جزيئات الهواء في منطقة تسمى « منطقة تضاغط » وعندما يعود الجسم الى الخلف تتباعد جزيئات الهواء التي كانت مضغوطة فيترك الجسم وراءه فراغاً يكاد يكون خالياً من الجزيئات ويسمى هذا الفراغ « منطقة تخلخل » . وطول الموجة الصوتية هو المسافة بين منطقتي تضاغط أو مركزي تخلخل

متتاليين ، والذبذبة الواحدة هي حدوث تضاغط ثم تخلخل ثم حدوث تضاغط جديد وكلما زاد الصوت حدة كلما قل طول الموجة والعكس . وكذلك كلما زاد عدد الذبذبات أو الدورات في الثانية الواحدة كلما قل طول الموجة ، وهذه التضاغطات والتخلخلات هي التي تؤثر في الغشاء الرقيق الذي نسميه طبلة الأذن مما يجعلها تتذبذب تبعاً لها مثيرة حاسة السمع .

الموجات اللاسلكية أو الكهرمغناطيسية : بجانب الموجات الصوتية التي تسري في الهواء ، توجد مجموعة كاملة من الموجات التي نتأثر بها في حياتنا اليومية وهي ما ندعوها موجات الاثير أو الموجات الكهرمغناطيسية والى *هنريخ هرتز* العالم الالماني يرجع الفضل في اكتشافها عام ١٨٨٦ م. وهذه الموجات تتفق جميعها في عدة خواص : فجميعها مثلا موجات مستعرضة اي انها تنشأ عن حركة جزيئات الوسط الذي تسري فيه في اتجاه عمودي على اتجاه حركات الموجات نفسها. وافضل تشبيه لها هو الموجات المائية التي تنشأ حين نلقي حجراً في الماء . فلسوف نجد ان مسقط الحجر يصبح مركزاً لموجات تنتشر على سطح الماء على صورة دوائر تتسع رويداً رويداً مبتعدة عن مركز الدائرة ثم تضعف وتتلاشى . وسبب هذه الموجات هو ارتفاع جزيئات الماء الى اعلا ثم انخفاضها الى اسفل متحركة في اتجاه افقي. واعلا نقطة في الموجة تسمى القمة واوطأ نقطة تسمى القاع وطول الموجة المستعرضة هو المسافة بين قمتين او قاعين متتاليين . وتعرّف الدورة او الذبذبة بأنها حدوث قمتين او قاعين متتاليين ، والتردد بأنه عدد الدورات في الثانية الواحدة .

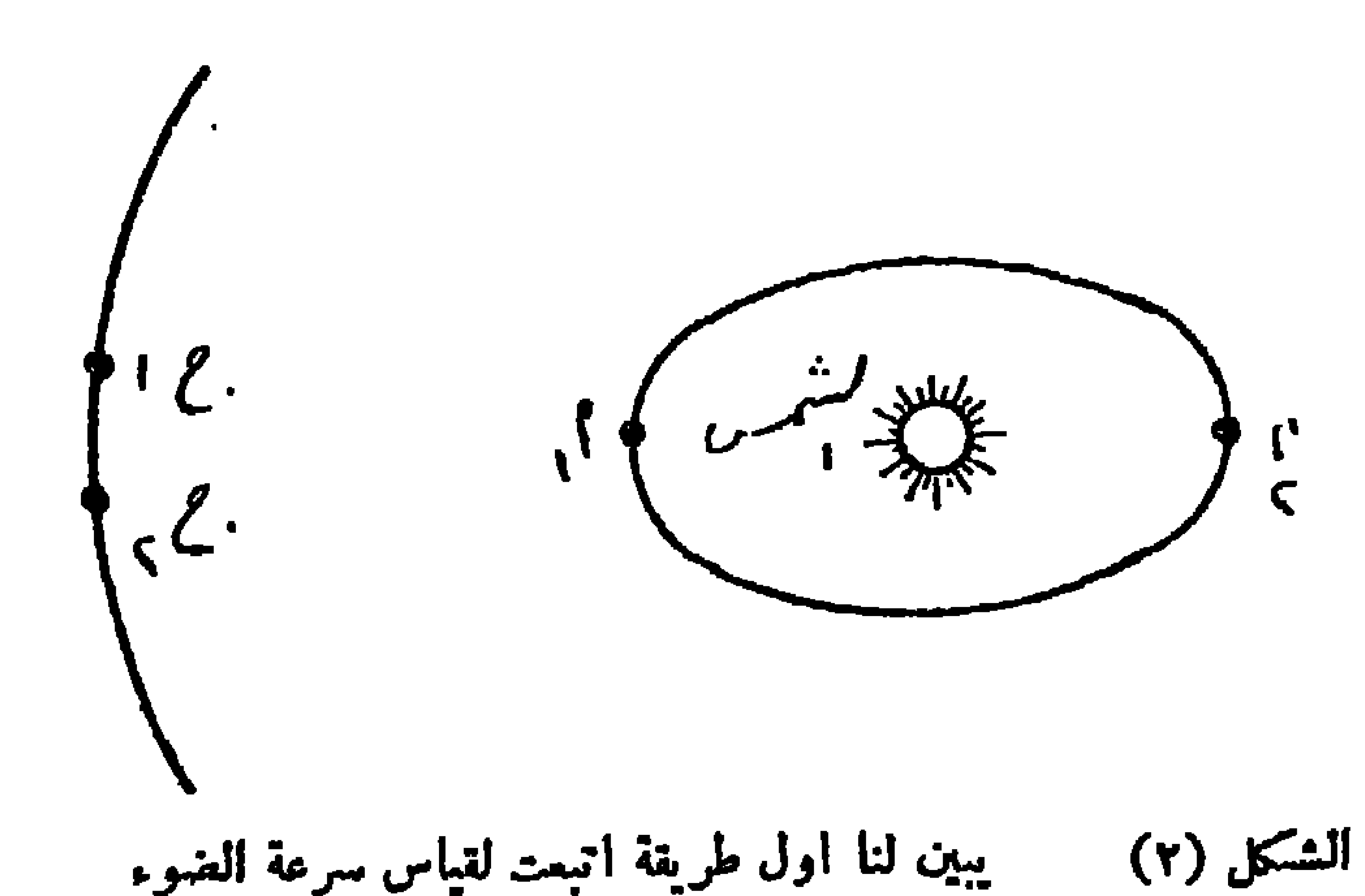
وتسري جميع الموجات الكهرمغناطيسية بنفس السرعة المـائلة أي سرعة الضوء وهي ٣٠٠ مليون متر في الثانية في الاثير (وهو الغلاف الذي يحيط بالكرة الارضية) وهو مادة غير منظورة تخترق كل كائن حي وكل جسم على ظهر البسيطة من صخور الى سوائل الى معادن الى مزروعات الخ . والاختلاف الوحيد بين الموجات الكهرمغناطيسية هو في اطوالهـا ومن هذا الاختلاف في الطول ينشأ اختلاف في التأثير: فالموجات التي تثير فينا حاسة البصر اقصر من الموجات التي تثير فينا حاسة الحرارة وهكذا وقياس طول الموجة اللاسلكية يكون بالامتار او السنتيمترات .



الشكل (١) طول الموجة هو المسافة بالامتار بين قمتين أو قاعين متتاليين

من هذا نستطيع القول الآن أن الضوء يأخذ وقتاً لكي تقطع موجاته المسافة من مصدره الى الآلة العجيبة التي تحس به وهي العين . والمعروف أن الموجات الصوتية بطيئة ، فاذا أنت راقبت مدفعاً وهو يضرب على مسافة منك فانك ستشاهد الوميض بمجرد ضرب المدفع ثم تسمع الصوت بعد ذلك . ولكن هل حقيقة انك ترى الوميض بمجرد ضرب المدفع ؟ كلا فالحقيقة انك تراه بعد مرور برهة ضئيلة جداً هي جزء على مليون من الثانية

ولكن هذا لايمنع من وجود فاصل زمني . ولم تستطع عقلية قدماء الفلاسفة ان تقبل ان هناك مثل هذا الفاصل الزمني بين حدوث الشيء و بين رؤيته بالعين الى ان تقدم العلم وامكن اثبات هذه الحقيقة . ولم تكن هناك وسيلة ما لقياس هـذا التأخير ومن ثمّ قياس سرعة الضوء الى ان تم اختـراع التلسكوب واستخدمه علماء الفلك الذين وجدوا ان للكوكب جو بيتر عدد من الاقمار تسري حوله وأن هذه الاقمار تتصرف بشكل غريب . فالمعروف ان الارض تدور حول الشمس دورة كاملة كل عام مرة وهي تبعد عنهـا حوالي ٩٣ مليون ميلا . وفي نفس الوقت يدور جو بيتر حول الشمس في مسار اطول جداً وعلى مسافة ابعد من مسافة الارض الى الشمس

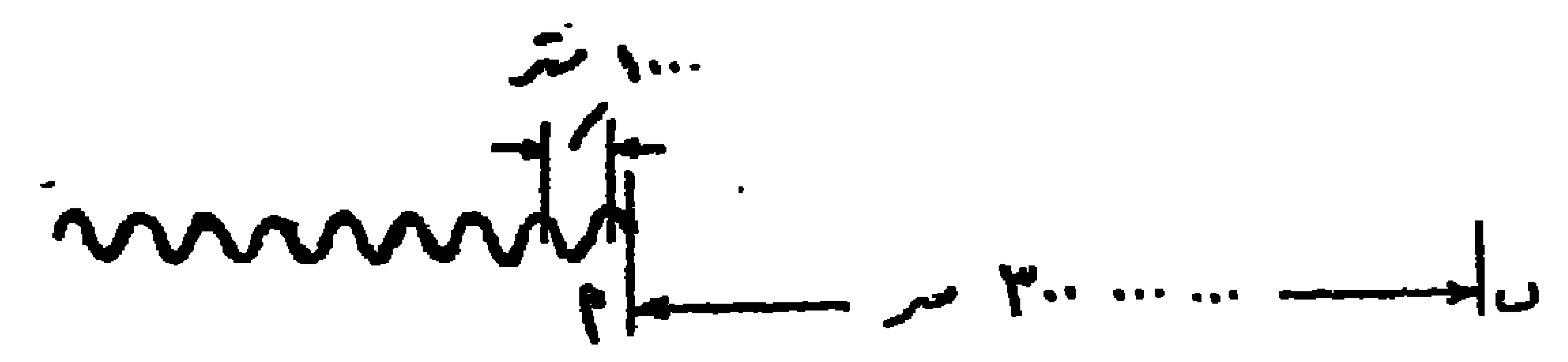


الشكل (٢) يبين لنا اول طريقة اتبعت لقياس سرعة الضوء

ففي الشكل (٢) حينما تكون الارض في الوضع ا ١ وجو بيتر في الوضع ج ١ يمكن قياس الزمن الذي يستغرقه دوران احد اقمار الكوكب جو بيتر حوله بدقة تامة اذ انه يكون منظوراً لفترة ما ثم يختفي وراء الكوكب ثم يظهر مرة ثانية عند حافته . وكلما بعـدت الارض عن جو بيتر وهي في

دورانها حول الشمس متجهة الى الوضع ا٢ يلاحظ ان المدة التي يستغرقها نفس القمر الاول في الدوران حول جوبيتر تطول تدريجياً حتى تصبح هذه المدة اطول بألف ثانية عندما تكون الارض في الوضع ا٢ عنها عندما كانت الارض في الوضع ا١ . وفي الوقت ذاته يلاحظ ان وضع جوبيتر لم يتغير الا قليلا نظراً لمساره الطويل جداً حول الشمس . ففي الوقت الذي تصل فيه الارض من الوضع ا١ الى الوضع ا٢ يكون جوبيتر قد انتقل من الوضع ج١ الى الوضع ج٢. فاذا استمرت الارض في دورانها متحركة من ا٢ متجهة الى الوضع ا١ أي مقتربة مرة ثانية من جوبيتر نجد ان الوقت الذي يستغرقه القمر في الدوران حول الكوكب يتضاءل تدريجياً الى ان ينعدم التأخير الزمني الذي بلغ ١٠٠٠ ثانيـة وذلك حين تصبح الأرض وجوبيتر اقرب مايكونا لبعضهما . اذن فما هذا الذي يحدث ؟ بالطبع ليس هنـاك ادنى احتمال لان يكون هذا القمر قد ابطأ سرعته او اي شيء من هـذا القبيل . والتعليل المنطقي هو ان تأخيره الف ثانية في ظهوره مرة ثانيـة حول الكوكب جوبيتر حين كانت الارض في الوضع ا٢ راجع لان الموجات الضوئية اخذت ١٠٠٠ ثانية اكثر لتصل الى ا٢ منها الى ا١ . والارض حين تكون في الوضع ا٢ تبعد عن النقطة ا١ ٩٣ مليون ميـل مرتين او ١٨٦ مليون ميـل عن الارض حين كانت في الوضع ا١ وبذلك يكون الضوء قد قطع ١٨٦ مليون ميل في الف ثانية اي ١٨٦ الف ميل في ثانية واحدة للوصول الى الارض حين كانت فى الوضع ا٢ . ولم تثبت الطرق الحديثة التي اتبعت لقياس سرعة الضوء عدم دقة هذ الرقم ، وما

زالت سرعة الضوء المعروفة الى الآن هى ١٨٦ الف ميل في الثانية او ٣٠٠ مليون متر . وهذه السرعة ثابتة في جميع الأحوال ولكل انواع الموجات الاثيرية ، لا تتأثر بتغير الحرارة او الضغط الجوي او بالليل او النهار او بتغير الاحوال الجوية. وفي العادة تقاس الموجات الاثيرية بالامتار ولكنها لا تميز بأطوالها وانما بترددها فيقال للموجة التي طولها ١٠٠٠ متر ان ترددها ٣٠٠ الف دورة في الثانية .



الشكل (٣) يبين وصول الموجة المتقدمة لسلسلة موجات اثيريه الى النقطة (ا) وطول كل من هذه الموجات ١٠٠٠ متر . فبعد مضي ثانية واحدة تصل اول موجة الى النقطة (ب) ، بعد ان تكون قد قطعت ٣٠٠ مليون متر اي انا نحتاج الى ٣٠٠ الف موجة من هذا النوع لشغل المسافة (ا ب) .

ففي الشكل (٣) سلسلة موجات كهرمغناطيسية طول كل منها ١٠٠٠ متر أولها عند النقطة ا ، فاذا كانت سرعة الموجات ٣٠٠ مليون متر في الثانية فان الموجة القائدة الموجودة عند ا سوف تقطع المسافة الى ب في ثانية واحدة ونظراً لان كل موجة تشغل مسافة طولها ١٠٠٠ متر نجد ان ٣٠٠ الف موجة تشغل المسافة ا ب في ثانية واحدة وبعبارة اخرى لو كان طول الموجة ١٠٠٠ متر يكون التردد ٣٠٠ الف دورة في الثانية. ومن هنا تتضح العلاقة بين طول الموجة والتردد فلو عرفنا احدهما امكن ايجاد الآخر .

فاذا كان طول الموجة ٥٠ متراً يكون التردد ٣٠٠ مليون مقسوماً على

٥٠ أي ٦ مليون دورة او سيكل في الثانية . كذلك لو عرفنا ان التردد ١٠ مليون سيكل في الثانية فان طول الموجة يساوي ٣٠٠ مليون مقسوما على ١٠ مليون اي ٣٠ متراً . وللتسهيل يطلق لفظ كيلو على الآلاف فيقال ان التردد ٥٠ كيلوسيكل كما يستخدم اللفظ ميجا للدلالة على الملايين .

اظن ان في هذا الكفاية لشرح معنى التردد وطول الموجة . فلنتصور الآن جهازاً لاسلكياً يرسل موجات كهرمغناطيسية بأي طول وان هناك مفتاح نستطيع ان نتحكم به في اطوال الموجات فاذا نحن بدأنا بارسال موجات طويلة جداً ، اي ان ترددها واطيء طولها بضعة كيلومترات لا نشعر بأي شيء غير عادي قطعياً ومهما طالت مدة الارسال فان اعصابنا او اعيننا او آذاننا لن تتأثر ، ولكن الذي يتأثر بمثل هذه الموجات هو اي جهاز لاسلكي آخر يكون قد واف توليفاً صحيحاً على طول الموجة المرسلة ليستطيع استقبالها كما يحدث في جهاز الراديو العادي حين ندير مفتاح المحطات، فنحن انما نولفه ليستطيع استقبال الموجات التي ترسلها محطة الاذاعة التي نريد سماعها، فاذا خفضنا طول الموجة اي رفعنا التردد فلن نشعر بأي شيء كذلك ويستمر جهاز الاستقبال في الاحساس بالموجات طالما نحن مستمرون على توليفه ، الى ان يصل طول الموجة الى بضعة ملليمترات فيتوقف جهاز الاستقبال عن الاحساس بالموجات.

وكل الموجات السابقة التي يتأثر بها جهاز اللاسلكي تدعى الموجات اللاسلكية او موجات الراديو . فاذا استمررنا في خفض طول الموجة بعد ذلك بدأ الجسم في التأثر بالموجات الجديدة لان الاعصاب السطحية في •

الجسم البشري تتأثر بالحرارة وتحسها وهذه الحرارة تشتد كلما قصرنا طول الموجات اكثر واكثر الى ان نبدأ في الاحساس بتأثير جديد : فتبدأ العين في اكتشاف والتقاط وهج احمر باهت ومع الاستمرار في تقصير طول الموجة تحس العين بهذا الضوء وقد اصبح احمر متوهجاً ثم برتقالياً ثم اصفر ثم اخضر ثم ازرق ثم لون النيلة ثم بنفسجياً وهي الوان الطيف او قوس قزح .

فاذا استمر تقصير طول الموجة بعد ذلك تتوقف العين عن الاحساس ولا ترى الا ظلاما في حين تستطيع آلة التصوير ان « ترى » وتلتقط صوراً لا تحس بها العين ويكون هذا في حالتين : حالة ما اذا كانت الموجات طويلة جداً « الاشعة تحت الحمراء » وقصيرة جداً « الاشعة فوق البنفسجية » فاذا قصرت الموجة عن الاشعة فوق البنفسجية تنشأ الاشعة السينية ، والموجات الاقصر جداً من موجات الاشعة السينية هي الاشعة الكونية الغامضة تلك التي تستطيع اختراق عدة اقدام من الصلب .

ولتلخيص ما سبق نقول ان جميع الموجات الاثيرية تسري في الاثير بنفس السرعة الجبارة في حين تتوقف تأثيراتها المختلفة على اطوالها ، وليس هناك جهاز واحد يستطيع ان يكتشف كل انواع الموجات . فالراديو يلتقط جميع الموجات اللاسلكية في حين لا تتأثر بها العين . وهناك كثير من الموجات الضوئية لا تحس بها العين وتتأثر بها آلة التصوير . وفي الرادار كما سيأتي الكلام بالتفصيل بعد ذلك تستخدم الموجات فوق القصيرة والموجات السنتيمترية .

الفصل الثاني

ما هو الرادار

كارثة عابرة المحيط تيتانك : كانت تلك الكارثة المروعة اعني اصطدام الباخرة تيدتانك بجبل ثلجي في المحيط الاطلسي اثناء عبورها اياه بسرعة كبيرة في رحلتها البكر في ابريل عام ١٩١٢ ، اقول كانت تلك الكارثة هي منشأ التفكير في ابتكار طريقة لاكتشاف الاجسام الصلبة وذلك لتجنب الاصطدام بها في البحر ومنذ ذلك التاريخ اخذت الاختراعات الخاصة بهذا الموضوع تخرج الى حيز الوجود واهمها «مكتشف جبال الثلج» " Iceberg detector " وهو جهاز مبني على نظرية ارسال موجات صوتية من بوق او صفارة مركبة على سطح المركب ، وهذه الموجات اذا اصطدمت بجسم صلب ترتد كصدى يُستقبل بواسطة الجهاز فيمكن تعيين محل الجسم . وقد تطورت هذه الاجهزة التي تعمل بالنظرية السالفة الذكر في مدى الخمس والعشرين سنة الماضية واصبحت تستخدم ضد الغواصات ولقياس الاعماق وفي اغراض اخرى عديدة . ثم تطور التفكير الى ان اصبح اللاسلكي هو الذي يستخدم لتحديد اماكن هذه الاجسام اولتعيين الموضع الذي تكون فيه الباخرة او الطائرة بطريقة سأشرحها مبسطة فيما بعد .

وقد كان لتلك الأجهزة اعظم الفضل في تخفيف حدة حرب الغواصات في هذه الحرب الاخيرة الامر الذي دعى الجرانر ادميرال دونتز قائد عام الاسطول الالماني وخليفة هتلر ان يقول « في عام ١٩٤٣ وبداية عام ١٩٤٤ حدث تطور خطير كثيراً ما خشيناه حتى في وقت السلم وهو ان يستطيع العدو ان يحرم سلاح الغواصات الالماني من أهم خصائصه ألا وهو عنصر المفاجأة . ولسوء الحظ استطاع العدو أن ينجح في ذلك باستخدام اللاسلكي لتعيين المحل . وقد تمكن بهذه الطرق من أن يتغلب على خطر الغواصات . ولم يكن انتصاره هذا راجعاً الى تفوق في الخبرة التكتيكية أو الاستراتيجية وانما كان مرجعه الوحيد تفوقه في مضمار البحث العلمي الخاص بهذا الموضوع ». ثم لنتأمل ماقاله الادميرال شير Scheer الالماني عقب الحرب العظمى الماضية « تمكن الانجليز من معرفة تحركاتنا بواسطة محطاتهم اللاسلكية التي انشأوا منها عدداً وفيراً والتي لم نتمكن من تجهيز مثلها الا متأخرين . وبانشاء هذه المحطات تمكن الانجليز من التفوق علينا في ادارة دفة الحرب».

والآن اصبح الرادار هو الخطر الاعظم الذي يواجه كل عدو فهو الطريقة المثلى لتعيين المحل بواسطة اللاسلكي من حيث الدقة والسرعة . فلنقتحم موضوعه محاولين ان نعرف ماهو ولماذا سمي بهذا الاسم.

ما هو الرادار ؟ في الواقع هـذا الاسم امريكي المولد ابتكرته البحرية الامريكية وهو تطور للاسم الاصلي لهـذا الجهاز الذي دشنه به الانجليز مخترعيه الاول Radiolocation او تعيين المحل بواسطة الراديو فالحرف الاول والثاني من كلمة رادار باللغة الانجليزية يرمزان الي Radio

راديو والحرف الثالث D يرمز الى Direction اي اتجـــــاه او الى Detection اي التقاط او اكتشاف والحرف الرابع A يرمز الى كلمة and حرف العطف والحرف الاخير R يرمز الى كلمـة Range اي مسافة او Ranging اي تقدير المسافة.

فهذا الاسم يلخص لنا واجبات الجهاز اي انه يوجد الاتجاه والمسافة بواسطة الراديو. وهو كما ترون اسم سهل مختصر افضل من الاسم الانجليزي الاصلي. ولكن لولا ظروف الحرب لما فرط الانجليز كعادتهم في الاسم الذي ابتدعوه . وهناك من الناس من يدخل تعديلا على معنى كلمة رادار فيقول ان الحرفين الاولين يرمزان لكلمة راديو والثالث لكلمة اتجاه والرابع A لكلمة angle اي زاوية والحرف الاخير لكلمة مسافة . والحقيقة ان الرادار يوجد لنا زاوية الهدف بجانب اتجاهه ومسافته. وسنرى فيما بعد ما هو المقصود بكل اصطلاح من هذه الاصطلاحات : اتجاه ومسافة وزاوية بصر.

والرادار نوع خاص اوطريقة خاصة جداً لايجاد المحل بواسطة الراديو وهي تختلف تماما عن كل الطرق السابق استعمالها في ان المركب او الطائرة المطلوب معرفة محلها لا تلعب دوراً ايجابياً في هذه العملية فرجال المركب او الطائرة لايشعرون عادة ان هناك موجات تخرج من الجهاز وتوجه اليهم وما يتبع ذلك من تعيين محلهم على خريطة دقيقة موضوعة داخل الجهاز . وفي الرادار يوضع المرسل والمستقبل في مكان واحد واحيانا في جهاز واحد. أما في الطرق الاخرى لتعيين المحل فانه لابد « للهدف » وهي المركب او الطائرة المطلوب ايجاد محلها ان تشترك في هذه العملية. ولتمييز هذه الطرق عن

الرادار اعطى لها اسم .D.F أي ايجاد الاتجاه وهي اختصار Direction Finding وقد يساعدنا في تفهم الرادار ان ابين باختصار مفيد كيف تتم عملية ايجاد الاتجاه

لاشك ان الكثيرين قد صادفوا اجهزة لاسلكية ولا شك كذلك انهم لاحظوا انه لكي يستقبل الجهاز اذاعة خاصة لا بد ان توجه القمرة Cabin التي تحوي الجهاز في اتجاه خاص وذلك لان القمرة مركب عليها مايعرف باسم هوائي مفروز Frame Aerial وهو لايخرج عن كونه ماف ضيق عادي قطره كبير . وتبلغ الاشارات المستقبلة من محطة الاذاعة اقصى شدتها حين تكون لفات الهوائي على امتداد خط وهمي يربط محطة الاذاعة بجهاز الاستقبال فاذا ادير الهوائي قليلا لجهة اليمين او لجهة اليسار لا يحدث الا تغيير طفيف في قوة الاشارة المستقبلة ولكن استمرار ادارة القمرة بالهوائي بعد ذلك تسبب خفوت الاذاعة تدريجياً الى ان يأتي وقت لايستطاع سماع الاشارات الواردة قطعياً والسبب في ذلك هو ان لفات الهواء تكون قد اصبحت عمودية على الخط الوهمي الذي يربط محطة الارسال بمحطة الاستقبال ويسمى هذا الوضع نقطة الصفر او نقطة اقل اشارة .

ما سبق هو النظرية الاساسية لطرق ايجاد الاتجـاه وتستخدم عادة نقطة الصفر لتعيين الاتجاه نظراً لانه يمكن تحديدها بمنتهى الدقة في حين انه من الصعب كما قلت تحديد نقطة اقصى اشارة وهي الوضع الذي يكون فيه الهوائي على امتداد الخط الوهمي .

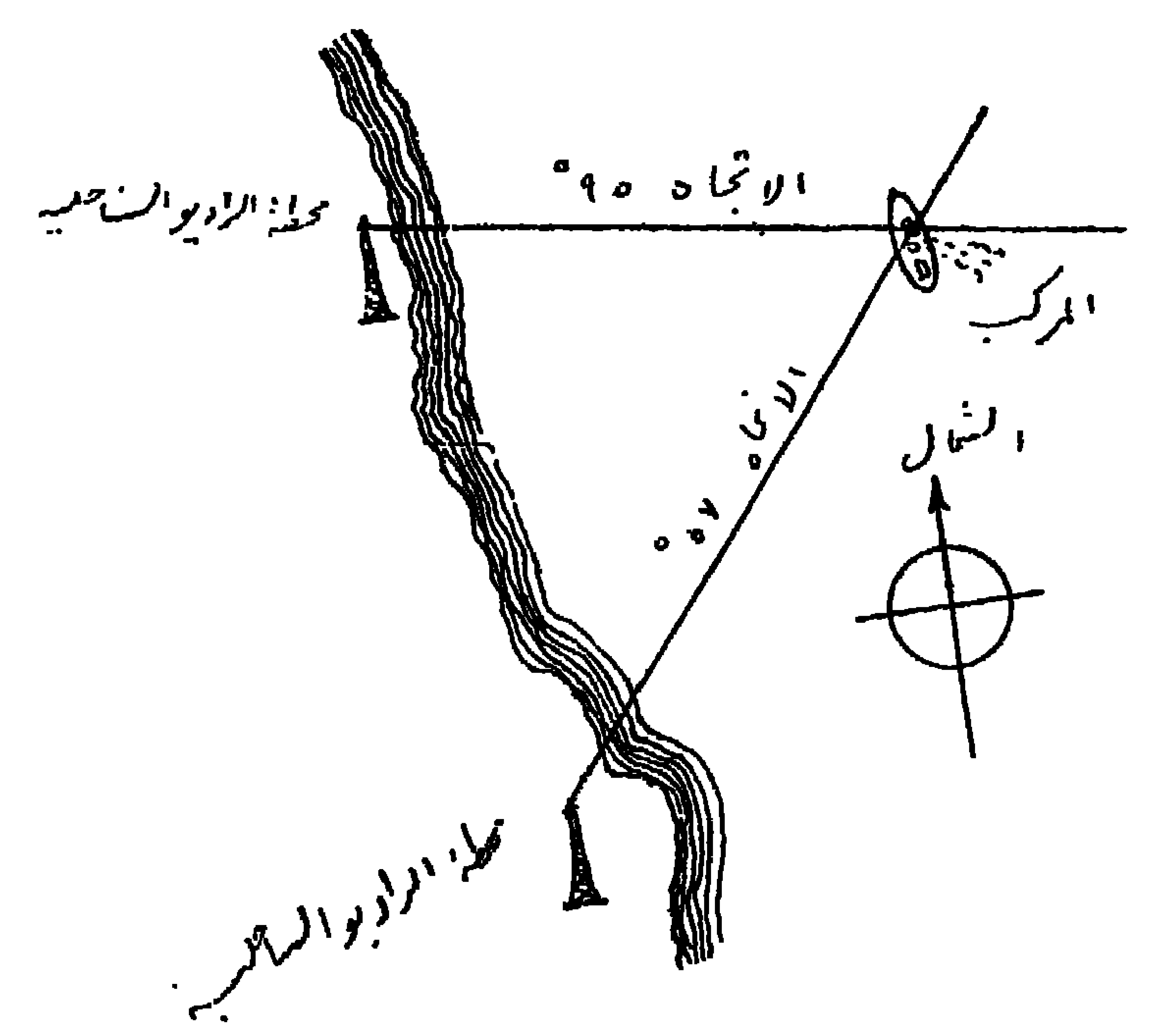
اذن فقد اصبح في امكانك لو كان لك صديق يملك جهاز استقبال لاسلكي على فرض انك انت نفسك تملك واحداً وانكما انت وصديقك

لا تبعدان عن بعضكما الا مسافة لا تتجاوز بضعة اميال ، اقول في امكانك ان تحدد مكان محطة ارسال قريبة على وجه التقريب ، واقول على وجه التقريب لان اجهزة اللاسلكي المتنقلة (وهي المفروض انكما تستعملانها) لم تصمم كي تستخدم في ايجاد الاتجاه ولذلك لايجوز لنا ان نتوقع ان نعرف بواسطتها اتجاهات دقيقة . واليكم الطريقة التي تتبع لايجاد اتجاه محطة الارسال التي تكلمنا عنها :

أدر قرة الجهاز يميناً ويساراً حتى تتلاشى الاشارات الواردة من محطة الارسال وذلك حين يصبح وضع الهوائي على نقطة الصفر ثم ارصد اتجاه المحطة بواسطة بوصلة عادية (ارصد اتجاهاً عمودياً على الاضلاع الطويلة لمبنى المحطة) ومن الاسهل ان تستخدم بوصلة مدرجة من صفر الى ٣٦٠ درجة في اتجاه عقرب الساعة . ثم حول هذا الاتجاه المغناطيسي بعد ذلك الى اتجاه حقيقي بطرح الانحراف المغناطيسي من الاتجاه المرصود بواسطة البوصلة . بعد ذلك حدد مكانك بمنتهى الدقة على

الشكل (٤)
يستقبل الجهاز اللاسلكي المتنقل الاشارات من محطة الارسال بواسطة هوائي مفروز مركب عليه وحين يكون هذا الهوائي في خط واحد مع محطة الارسال تبلغ شدة الاشارات المستقبلة اقصاها وتخفت هذه الاشارات الى الصفر تقريبا حين يصبح الهوائي عمــوديا على الخط الواصل بين المرسل والمستقبل.

خريطة للمنطقة وارسم من مكانك على الخريطة خطاً في اتجاه المحطة ، ذلك الاتجاه الذي رصدته ببوصلتك . في هذا الوقت يكون صديقك قد ادى نفس العملية وبلغك الاتجاه الحقيقي الذي رصده من مكانه لمحطة الارسال فما عليك الان تعين مكانه هو على خريطتك وترسم خطاً من مكانه في الاتجاه الذي بلغك عنـه فتكون نقطة تلاقي الخطين المرسومين هي مكان محطة الارسال في حالة ما اذا كانت اجهزتكما تعمل جيداً ولم تكونا قد ارتكبتما أخطاء كبيرة في الرصد او في تحديد نقطة الصفر .



الشكل (٥) يبين كيفية ايجاد محل مركب في البحر بواسطة محطتين ساحليتين

والشكل (٥) يبين الكيفية التي تستطيع بها محطتا لاسلكي ساحليتان مجهزتان بأجهزة ايجاد الاتجاه اللاسلكية ايجاد اتجاه مركب في البحر .

و الطريقة المبينة هي ان ترسل المركب التي تريد معرفة محلها او التي يراد معرفة اتجاهها اشارة لاسلكية فتقيس تلك المحطتان اتجاه المركب بطريقة اقل اشارة كما سبق في المثال السابق،ويبين الاتجاهين المقاسين من المحطتين بخطين على خريطة كبيرة فتكون نقطة تلاقي الخطين هي محل المركب . ومن هذه الطريقة يتضح ان المركب قدلعبت دوراً ايجابياً في العملية بأن ارسلت اشارة لاسلكية التقطتها المحطتان فوجهتا الهوائيات تبعاً لها حتى ضبطت نقطة الصفر ورصدت الاتجاهات.

و بطريقة عكسية تستطيع المركب « الهدف » ان تعين محل نفسها بالاستعانة بمنارات اللاسلكي Radio Beacons المنتشرة على طول سواحل البلاد المتمدينة . وهذه المنارات ترسل اشاراتها اللاسلكية بطريقة مورس على الدوام (ولا بد وان تكونوا قدسمعتم هذه الاشارات في اجهزة الراديو دون ان تعيروها اي اهتمام) متبوعة بشرطة طويلة تستمر لعدة ثواني . فيقوم قائد المركب بقياس اتجاهات اثنين او اكثر من هذه المنارات مستعيناً بجهاز ايجاد الاتجاه اللاسلكي الموجود على مركبه ثم يعين هذه الاتجاهات على الخريطة بالنسبة الى محلات هذه المنارات على نفس الخريطة فتكون نقطة تلاقي الخطوط التي تبين الاتجاهات هي محله . وفي هذه الحالة ينحصر عمل الهدف في استقبال الاشارات الصادرة من المنارات اللاسلكية بدلا من ارسالها ثم تعيين الاتجاهات على الخريطة وما يتبع ذلك من ايجاد المحل . ولقد استخدمتُ كلمة الهدف عدة مرات وستستعمل فيما بعد كثيرا لأنها اسهل في التعبير عن الطائرة او المركب او المحطة المطلوب ايجاد محلها فضلا

عن كونها كلمة عسكرية اعتدنا استخدامها دائما .

مما سبق يتضح ان ايجاد الاتجاه لا يتطلب فقط معونة الهدف ولكنه يتطلب كذلك استخدام محطتي ارسال او استقبال على الاقل. وهذه الطريقة لها فوائد جليلة في كل من وقتي السلم والحرب : فان اي مركب مثلا عليها آلة ايجاد اتجاه تستطيع قطعاً تحديد مكانها بالضبط ، فلا يبقى ربانها نهبة للشك طالما ان مركبه في المدى المعقول للاستقبال من شواطىء البلاد المتمدينة . وكم من سفينة حربية او غواصة معادية أغرقت لان الاشارات الصادرة منها اياً كانت قد فضحتها وساعدت على تعيين محلها من الشاطىء. ولم تقتصر فائدة هذه الطريقة على الاستعمال السالف الذكر بل استعملت كذلك في مساعدة قاذفات القنابل الانجليزية حين عودتها من غاراتها على المانيا على الهبوط آمنة في مطاراتها في اردأ الحالات الجوية. وكانت تلك العملية تتم بطريقة عكسية حين كانت تستخدم طريقة ايجاد الاتجاه في ارشاد المقاتلات للاشتباك مع طائرات العدو بأن تعيّن اماكن طائرات العدو بواسطة الراديو كما تعيّن اماكن الطائرات المقاتلة بواسطة الراديو كذلك بين دقيقة واخرى حتى يتسنى ان يرسل لهم المدير Controller من ارض المطار اشارات بالتليفون اللاسلكي لتوجيههم توجيهاً صحيحاً الى مقاتلات العدو او قاذفاته .

وقد يطرأ في اذهان القراء سؤال يقول : وما هى الضرورة التي تحتم استخدام محطتين بدلا من واحدة لتعيين المحل ؟ السبب بسيط وهو ان آلات ايجاد الاتجاه توجدلنا الاتجاه فقط وليست المسافة ، وتعيين محل هدف

على الارض او في البحر بواسطة محطة لاسلكية واحدة يتطلب معرفة اتجاه هذا الهدف فضلا عن مسافته من المحطة اللاسلكية لانه لن يكون هناك في هذه الحالة تقاطع اتجاهين لتعيين محل الهدف على الخريطة. فاذا امكن بطريقة ما معرفة مسافة هذا الهدف بالنسبة الى محطة ايجاد الاتجاه اللاسلكية فان هذه المحطة تقوم بايجاد اتجاهه ثم يعين محلها على الخريطة ومن هذا المحل يرسم خط في الاتجاه المرصود وتحدد نقطة على هذا الخط تقابل مسافة الهدف فتكون هذه النقطة هي محل الهدف .

طريقة تعيين محل طائرة : لا تعتبر طريقتا القياس السابقتان كافيتان لتعيين محل طائرة تطير فوق سطح الماء او سطح الارض ، فالمطلوب هو تحديد نقطة على الخريطة تتلاقى مع العمود الذي نتخيله يسقط من الطائرة على سطح الارض ، ونظراً لاننا لا نستطيع ان نقيس على سطح الارض او الماء الا بمقاسات سطحية اعني العرض والطول فقط وليس الارتفاع (بتعبير اصح المسافة والاتجاه فقط) ولذلك فان ما نستطيع تعيين محله بما لدينا من معلومات حتى الآن هو الاهداف الارضية فقط ولكن اذا ارتفع الهدف الى الجو وجب ان نقيس بمعامل ثالث وهو الارتفاع . والآلة التي تقوم بقياس المسافة الى الهدف كالرادار مثلا تقيس لنا مسافة تمثلها بخط خيالي مستقيم يربط الطائرة في الجو بجهاز القياس على الارض وتسمى بالمسافة فقط Slant Range تمييزاً لها عن المسافة الارضية Ground Range كما يتضح من الشكل (٦) . فاذا فرضنا ان الهدف يطير على ارتفاع قدره ثلاثة اميال وكانت مسافته خمسة اميال فمن الشكل نجد انه يقع

فوق النقطة س مباشرة وهذه تبعد عن الجهاز اربعة اميال فقط وهي النقطة التي يجب توضيحها على الخريطة لتعيين محل الطائرة . فماذا يحدث اذن لو اننا اهملنا عامل الارتفاع اصلا وعيّنا محل الطائرة مستعينين بالمسافة فقط على اعتبار أنها تساوي المسافة الارضية؟ الذي يحدث هو ان محل الهدف على الخريطة يصبح عند النقطة ص وهذه تبعد ميلا كاملا عن المحل الحقيقي وبالطبع ليس في الامكان تعيين النقطة س بدقة دون ان نعرف ارتفاع الهدف بالضبط.

الشكل (٦)

من الضروري معرفة الارتفاع والمسافة لتعيين محل طائرة وفي حالتنا هذه يبلغ ارتفاع الطائرة التي تطير فوق النقطة (س) مباشرة ١٥٨٤٠ قدما من هذه النقط اى انها لا تبعد اكثر من اربعة اميال مسافة ارضية عن موضع جهاز تعيين محلها . فلو فرض واهملنا عامل الارتفاع واستخدمنا المسافة فقط في تعيين محل الطائرة لظهر على الخريطة عند النقطة (ص) وهي تبعد ميلا كاملا عن المحل الصحيح للطائرة

ولكن الرادار لايقيس لنا الارتفاع مباشرة فهو يقيس المسافة والاتجاه ويقيس الزاوية ا وهي مانسميها زاوية البصر او الزاوية فقط . والآن تأمل قليلا في الشكل . هل تستطيع ان تستنتج شيئاً اذا ماعرفت المسافة والزاوية ؟ نعم في استطاعتك بمنتهى البساطة ان تعرف الارتفاع مستخدماً حساب المثلثات في ابسط صوره. إلا أنه فى الاستخدام العملي للرادار لانتعب انفسنا قطعياً في تطبيق حساب المثلثات لأن الآلات تحل المسائل اوتوماتيكياً ونحن مستريحون في مقاعدنا . فهذه الآلات العجيبة اذا زودت بالمسافة

والزاوية تنتج في الحال الارتفاع والمسافة الارضية فضلا عن الاتجاه فيستطاع تعيين محل الهدف على الخريطة دون ادنى صعوبة .

ويمكن تلخيص الاختلاف بين الرادار وايجاد الاتجاه في الآتي : في ايجاد الاتجاه يتطلب الامر وجود محطتين على الاقل اذ انهما تقيسان الاتجاه فقط وليست المسافة او الزاوية . كما ان الهدف مطالب بأن يشترك في عملية ايجاد الاتجاه اشتراكا ايجابياً . واذا كان هذا الهدف طائرة وجب ان ترسل الى المحطات الارضية اشارات تبين ارتفاعها عن سطح الارض حتى يمكن تعيين محلها بدقة . اما اذا كان الرادار هو المستخدم فان محطة رادار واحدة يمكنها ايجاد محل الهدف بمنتهى الدقة سواء في البحر او في الجو او في الارض دون ان يشترك هذا الهدف في العملية اصلا وحتى دون ان يكون على علم بأنه متبوع بأشعة الرادار الخيالية . هذا ولتتصور انه ليس في امكانك البتة تعيين محل طائرة معادية بطريقة ايجاد الاتجاه دون ان يتكرم عليك طيار الاعداء بارسال اشارات متتابعة اليك لتلتقطها وتعين بواسطتها محله ! ثم انه يجب ان يكون اكثر كرماً ليبلغك باشارات اخرى مستمرة مقدار ارتفاعه ، ويستمر في هاتين العمليتين كي يمكنك ان تعين محله باستمرار . فبواسطة الرادار تؤدى كل العمليات السابقة دون ان يطلب من الطيار أي شيء وحتى دون ان يعلم هو عن سير الامور كثير او قليل .

ايجاد الارتفاع : قد يكون من المناسب أن نزيد الامر ايضاحا فيما يتعلق بقياس الارتفاع . فبعض اجهزة الرادار قد صممت خصيصاً لتؤدي اعمال الانذار المبكر أي انه مطلوب منها اكتشاف طائرات الاعداء حين

تكون على مسافات بعيدة جداً كي تنذر المختصين باقتراب هذه الطائرات قبل وصولها بوقت كاف. فواضح اننا لانحتاج الى معلومات وقياسات دقيقة جداً من مثل هذه الاجهزة، اي انه ليس من الضروري تحديد محل المغيرين بالضبط. فكل ما نحتاجه هو معرفة خط سير الطائرات المغيرة ووجهتها والمكان الذي تطير فوقه من دقيقة الى اخرى على وجه التقريب • أما المعلومات الدقيقة عن المسافة والارتفاع فاننا نحتاج اليها فيما بعد حين تصبح الاهداف داخل مرمى المدافع. وعلى ذلك فليس مطلوبا من اجهزة الانذار المبكر هذه ان تقيس الارتفاع بدقة انما يطلب منها ان تكون ذات حساسية شديدة كي تستطيع اكتشاف الاهداف المعادية مهما كانت بعيدة عن اراضينا.

انواع الرادار : الرادار انواع عديدة تعمل كلها تقريباً على نفس النظريات التي نحن على وشك بحثها في الابواب القادمة. الا انه يستحسن تقسيم هذه الانواع الى قسمين رئيسيين : القسم الاول ويضم الاجهزة التي تستخدم في الانذار المبكر وهذه ذات حساسية شديدة تلتقط الاهداف على مسافات بعيدة ومعلوماتها التي تعطيها لنا تقريبية، والقسم الثاني ويشمل الاجهزة التي تزودنا بالمعلومات والتقديرات الدقيقة عن المسافة والاتجاه والزواية. ولم تكن الاجهزة التي استخدمت في بدء الحرب الاخيرة لتستطيع ان تؤدي واجبات اجهزة القسم الثاني الا على مسافات قصيرة نسبياً. اما وقد تطور الرادار واتسع نطاق الابحاث الخاصة به فقد اصبح في الامكان تعيين محل الاهداف البعيدة بمنتهى ما يمكن من الدقة.

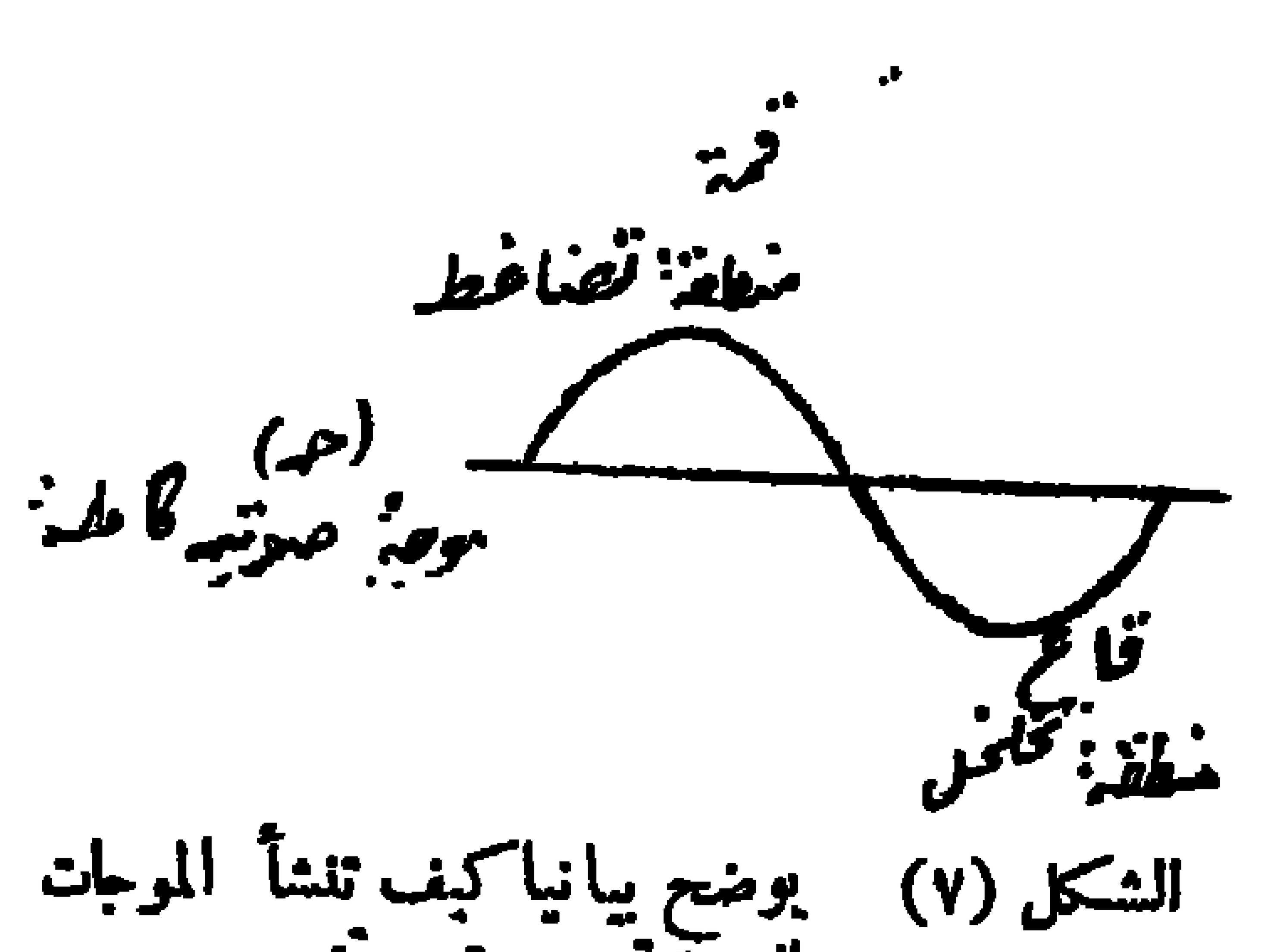
الفصل الثالث

قياس المسافات بطريقة صدى الصوت

تذكرون ولا شك ما جاء في الباب الاول عن الموجات الصوتية وكيف ان مرجع جميع الاصوات التي نسمعها انما هو سريان موجات الصوت خلال الهواء . وهذه الموجات التي تخترق الهواء ليست كموجات المياه التي تنتقل فوق سطح الماء ، وهي بالطبع موجات غير منظورة. ولنأخذ البيانو (المعزف) كمثل لتوضيح الموجات الصوتية فالبيانو من الداخل عبارة عن مجموعة من الاوتار المشدودة لكل منها طول خاص فعندما تدق المطرقة الصغيرة الخاصة بكل وتر على

(أ) يضغط الوتر المهتز الهواء أمامه

(ب) يترك الوتر المهتز منطقة تخلخل خلفه



الشكل (٧) يوضح بيانيا كيف تنشأ الموجات الصوتية عن وتر مهتز

واحد منهم يتذبذب ، وتتوقف سرعة هذه الذبذبة على طول الوتر وثقله ومقدار الشد . فاذا اراد الرجل المكلف بشد البيانو وتصليحه ضبطه فانه يشد او يرخي الوتر (سي) الاوسط حتى تصبح ذبذبته حوالي ٢٥٦ مرة في الثانية حين يطرق. وحينئذ تستطيع الأذن العادية سماع الصوت الموسيقي الناتج من طرق الاصبع (سي الاوسط) على البيانو . والشكل (٧) يبين الخطوات التي تحدث اثناء ذبذبة واحدة لوتر مشدود .

ففي الوضع ا يتحرك الوتر لجهة اليمين ضاغطاً الهواء الذي يعترض طريقه مسبباً ما سميناه منطقة تضاغط وفي الوضع ب يرتد الوتر الى الخلف في اتجاه مضاد لحركته الاولى تاركا وراءه منطقة تخلخل خالية تقريباً من جزيئات الهواء . وبذلك تكون الذبذبة الواحدة قد سببت منطقة تضاغط في الهواء تسمى قمة الموجة تتبعها منطقة تخلخل تسمى قاع الموجة وتسري هذه القمم والقاعات التبادلية للخارج بحيث يكون هناك قمة وقاع لكل موجة كاملة أي لكل ذبذبة كاملة للوتر . ومن الفصل الاول قد اتضح تأثير مثل هذه الذبذبة على طبلة الاذن مما يسبب سماع الصوت. وتتوقف السرعة التي تسري بها موجات الصوت على الاحوال الجوية ، وهي تنتشر بسرعة متوسطها ١١٢٠ قدم في الثانية . اي انه لو كان هناك شخص ما على مسافة ١١٢٠ قدم من مدفع واطلق هذا المدفع فان هذا الشخص يسمع صوت انطلاقه بعد مضي ثانية واحدة من رؤيته الوميض الذي نشأ من انطلاق المدفع . وقد طبقت هذه النظرية عملياً في الحروب وسميت طريقة تقدير المسافة الصوتية وهذه الطريقة لا تعتبر تطبيقاً تاماً للنظرية الاساسية بل انها

تختلف عنها في انها لاتشمل رؤية الوميض ثم قياس الزمن الذي ينقضي حتى سماع الصوت، بل هي عبارة عن تعيين عدد من المراقبين يقفون في نقط مراقبة متعددة حددت اماكنها بمنتهى الدقة بطرق المساحة، ويقوم هؤلاء المراقبون بتسجيل اللحظة التي يسمعون فيها الصوت بمنتهى الدقة ، وباتباع سلسلة من خطوات لاأجد داعياً لسردها يمكن تعيين موقع اي مدفع من مدافع العدو . كما ان لهذه الطريقة استخدام عسكري آخر وهو تحديد مواقع انفجار طلقات المدافع الموجهة ضد العدو حتى يمكن اعطاء التصحيحات اللازمة كي تسقط هذه الطلقات على مدافع العدو التي سبق وعين مكانها دون الحاجة لان نرى هذه المدافع أو ان ينشن عليها جنود المدفعية او المراقبون . والشبه واضح لاشك بين طريقة تقدير المسافة الصوتية اوطريقة ايجاد المسافة برؤية الوميض ثم قياس الزمن الذي ينقضي حتى سماع الصوت وبين طريقة ايجاد الاتجاه اللاسلكية. ففي كلتا الطريقتين لابد وان يشترك الهدف في العملية اذ انه في طريقة ايجاد الاتجاه اللاسلكية اما ان يرسل الهدف اشارات لاسلكية او ان يعين الاتجاهات التي تصدر منها الاشارات الواردة من منارات اللاسلكي المقامة على الشاطيء . كما انه في طريقة تقدير المسافة الصوتية يجب ان يصدر عن الهدف صوت تسمعه الاذن المجردة او تسجله آلات خاصة في حوزة اولئك الذين يرغبون في اكتشاف موقع هذا الهدف .

الا انه في الامكان ان تستغل الموجات الصوتية في ايجاد مسافة هدف دون ان يشترك هذا الهدف في العملية اشتراكاً ايجابياً بل يعمل

فقط كعاكس للموجات الصوتية يردها كصدى الى مصدرها حين تصطدم به .

فلنفرض ان هناك شخصاً يقف في ارض فضاء كما هو مبين بالشكل(٨) وفي نهاية هذه الارض يوجد منزل يبعد عن هذا الشخص بمسافة ما . فاذا نادى هذا الشخص قائلا (هاي) نجد انه بعد فترة قصيرة من الزمن يرتد اليه نفس هذا النداء على صورة صدى مسموع مما يثبت ان المنزل يعمل كعاكس للموجات الصوتية . فهل في استطاعة هذا الشخص ان يقدر مسافة هذا المنزل دون ان يتحرك من محله؟ بالطبع في امكانه ان يفعل ذلك اذا كان معه عداداً للثواني Stop Watch . فما عليه الا ان يشغل الساعة حالما ينادي ويوقفها بمجرد ارتداد الصدى اليه. فاذا فرضنا ان الزمن الذي انقضى بين اطلاقه النداء وبين عودة الصدى اليه كان ٦ ثوان . ففي هذه المدة تكون الموجات الصوتية قد قطعت مسافة ١١٢٠ قدما ست مرات أو ١١٢٠ ياردة مرتين . اذن فلا بد ان تكون المسافة كما يبدو لأول وهلة ٢٢٤٠ ياردة ولكنها ليست كذلك حقيقة فالموجات الصوتية قد قطعت فعلا هذه المسافة ولكن على مرتين او في رحلتين رحلة الذهاب حين اطلق النداء ورحلة الاياب حين ارتد

الشكل (٨)
قياس المسافة بواسطة صدى الصوت وعداد الثواني

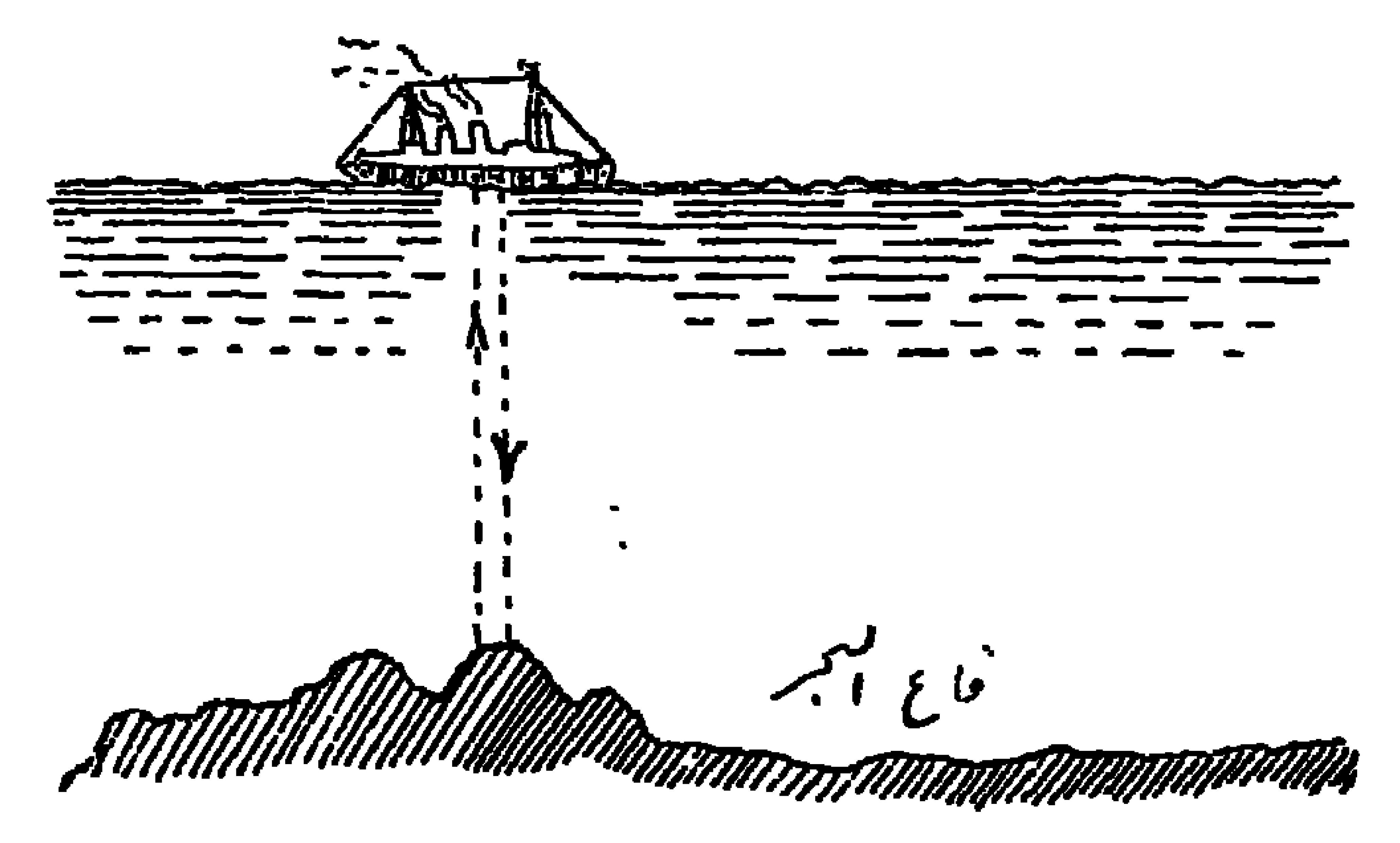
الصدى المنعكس من المنزل فتكون المسافة الحقيقية بين هذا الشخص وبين المنزل هي ١١٢٠ ياردة فقط.

وهذه النتيجة تجعلنا نضع قاعدة تقول انه طالما اننا نعمل مستعينين بعداد الثواني لقياس المسافات فكل ثانية في الزمن تمثل ١١٢٠ قدماً وهي المسافة التي تقطعها الموجات فعلا و ٥٦٠ قدماً وهي المسافة الحقيقية للهدف. وهذا هو صلب النظرية الهامة لقياس المسافات بصدى الصوت . فالموجات الصوتية تقطع رحلتين ذهاباً واياباً وتعتبر مسافة الهدف واحدة من هاتين الرحلتين فقط .

ولقد كان استخدام طريقة تقدير المسافة ناجحاً لدرجة كبيرة في قياس اعماق المحيطات والبحار ذات الاغوار البعيدة كالمحيط الهادي أو الاطلسي حيث يبلغ العمق في بعض اجزائهما بضعة اميال. والطريقة القديمة التي كانت تتبع فيما مضى لإجراء مثل هذا القياس طريقة عتيقة بطيئة كما انها كانت غير عملية البتة . فلقد كان المتبع ان تسير مركب المساحة ببطء شديد او تقف في المنطقة المراد قياس عمق المحيط عندها ثم تُسقط مقياساً من الرصاص على سلك من الصلب الرفيع . ولكن بطء المركب في السير ما كان ليمنع تأخر المقياس وراءها فتكون النتيجة ان يقاس عمق مائل وليس العمق الحقيقي العمودي . وفي هذه الحالة يجوز لنا ان نقارن العمق المائل بالمسافة في حالة قياس مسافة الطائرة وهي كما نذكر اطول من المسافة الارضية ، والنتيجة ان القياس يكون غير دقيق . وحتى بفرض استخدام آلات خاصة لإنزال المقياس أثناء توقف المركب عن السير فلا

شك ان الوقت الذي يستغرقه انزال سلك طوله خمسة اميال ولفه ثانية لأعلا يعتبر طويلا جداً .

والطريقة الحديثة هي ان تزوّد مركب المساحة المستخدمة في قياس الاعماق بآلات خاصة ترسل موجات صوتية وتستقبل الاصداء الصوتية فتقاس الاعماق بالطريقة الموضحة في الشكل (٩) اذ تُرسَل سلسلة قصيرة من الموجات الصوتية ، وهذه حين تصل الى قاع البحر ترتد بشكل صدى



الشكل (٩) سبر الغور بطريقة صدى الصوت. ترسل سلسلة قصيرة من الموجات الصوتية من المركب . وحين وصول هذه الموجات الى قاع البحر تنعكس ثانية الى المركب وبواسطة جهاز توقيت خاص موجود على سطحها يحول الوقت الى عمق ويسجل هذا العمق اوتوماتيكيا طوال رحلة المركب

تستقبله آلات على سطح المركب في حين تسجل آلة التوقيت الوقت الذي أُرسلت فيه الموجات والوقت الذي عاد فيه الصدى وتحوّل هذا الوقت اوتوماتيكياً الى عمق بالاقدام . وسرعة الموجات الصوتية خلال مياه البحر اكبر من سرعتها خلال الهواء ولذلك فمن الضروري التعويض عن هذا الفرق والا اصبح القياس غير دقيق . وتستمر المركب في سيرها بسرعة منتظمة

بينما تسجل الآلات الاعماق المختلفة اوتوماتيكياً بالطريقة السالفة الذكر فينتج رسم بياني لقاع البحر اثناء الرحلة .

والفائدة التي نجنيها من تقدير المسافات باستخدام صدى الصوت عظيمة ولا شك ولكن هذا لا يمنع من أن لها بعض العيوب أهمها ان سرعة اصداء الموجات الصوتية صغيرة نسبياً فهي نفس السرعة التي تنتشر بها الموجات الصوتية نفسها . ومع ذلك فان ١١٢٠ قدماً في الثانية لا تبدو ضئيلة لأول وهلة فهي اذا حولت الى أميال في الساعة تصبح حوالي ٧٦٠ ميلا في الساعة وهي سرعة عالية جداً لو قورنت بالسرعات التي تنتج عن أحسن الآلات الميكانيكية، ولكنها ليست عالية جداً لو قورنت بسرعة الطائرات فلقد كانت سرعة قاذفات القنابل حين بدأت الحرب عام ١٩٣٩ تتراوح بين ١٨٠و٢٤٠ ميلاً في الساعة في حين استطاعت المقاتلات ان تقطع ٣٠٠ ميل في الساعة وفي أيامنا هذه وصلت هذه السرعات الى أرقام خيالية قاربت سرعة الصوت (الطائرات الصاروخية) وهناك ما يدل على انها على وشك ان ان تفوقها . فاذا تركنا جانباً مسألة السرعات المختلفة ورجعنا بذاكرتنا الى اوائل الحرب الاخيرة لعرفنا انه لم يكن هناك اقل امل في امكان تقدير سرعة الطائرات المعادية بواسطة صدى الصوت نظراً لأن سرعة القاذفات المغيرة على المدن الانجليزية كانت ذات متوسط يبلغ مائتي ميل في الساعة.

فاذا تصورنا انه امكن ارسال موجات صوتية لتصطدم بطائرة مغيرة قادمة في اتجاهنا مباشرة على مسافة ٢٠ ميلا تقريباً بسرعة حوالي ٢٠٠ ميل في الساعة ، فلكي يعود الينا الصدي المنعكس من مثل هذه الطائرة تكون

هي قد قطعت حوالي الثمانية اميال : أربعة اميال اثناء رحلة الموجات الصوتية اليها واربعة اثناء عودة الصدى منها الى الجهاز المكتشف . اي ان المعلومات التي تمهد السبيل للاشتباك مع مثل هذه الطائرة تصل متأخرة جداً لعمل الترتيبات للاشتباك معها . وليس هذا هو العيب الوحيد انما العيب الأهم هو أن المسافة التي تقاس بهذه الطريقة انما هي مسافة الطائرة لما كانت في محلها الاول حين وصلتها الموجات الصوتية وليست مسافتها وهي في مكانها الجديد اي المكان الذي تكون فيه حال وصول الصدى منها وبالطبع ليست هناك اية فائدة من ان نعرف المسافة القديمة للطائرات قبل ان تشتبك المدافع معها بوقت ما، وليس في الامكان الاستفادة من نيران المدفعية المضادة للطائرات الا اذا عرفت المسافات الفعلية الحالية للطائرات المعادية بين لحظة واخرى وبذلك يمكن استخدام الآلة العجيبة المعروفة باسم البريدكتور لانتاج مسافة الطائرة التي ستكون عليها حين تصل اليها قذيفة المدفع ، وهي المسافة التي يسميها رجال المدفعية « المسافة المستقبلة » . وكذلك يستطاع ربط طابات الدانات بالنسبة لهذه المسافة المستقبلة حتى تنفجر هذه الدانات في الوقت المناسب اي حين تلتقي مع الطائرة وليس قبل ذلك او بعده .

مما سبق نصل الى نتيجة واضحة وهي ان صدى الصوت يعتبر بطيئاً جداً لكي نستخدمه في الحصول على مسافات الطائرات البعيدة المدى . ولكنه لسوء الحظ كان الطريقة الوحيدة لتقدير المسافة قبل اكتشاف الرادار وذلك لسبب بسيط وهو أن طياري الاعداء ليسوا كرماء بدرجة

كافية حتى نتوقع منهم ان يرسلوا الينا خصيصاً اشارات لاسلكية تساعد على تعيين الاتجاه بواسطة الراديو بالطريقة القديمة . اذ انهم يعرفون تمام المعرفة انهم اذ يرسلون مثل هذه الاشارات انما يوردون انفسهم موارد التهلكة .

وبعد بحث طويل وجد أن الوسيلة الوحيدة الخالية من عيوب طريقة صدى الصوت وطريقة ايجاد الاتجاه هي ارسال موجات لاسلكية تصطدم بالجسم المراد ايجاد مسافته واستقبال الصدى اللاسلكي المنعكس من هذا الجسم بواسطة آلة لاسلكية تقيس بطريقة ما الزمن الذي استغرقته رحلة الموجات الى الهدف وعودة الصدى منه . فاذا عرفنا ان سرعة الموجات اللاسلكية في الاثير اكبر مليون مرة تقريباً من سرعة الصوت امكننا ان نعرف السبب في كون هذه الطريقة هي انجع وسيلة لقياس المسافات الفعلية للطائرات السريعة جداً والبعيدة جداً في اية لحظة نريدها . والرادار ينتج لنا فضلا عن المسافات الحالية للاهداف بطريقة الاصداء اللاسلكية ، زوايا الاهداف واتجاهاتها كما ذكرنا ، وهذه هي المعلومات المطلوب توصيلها الى البريدكتور حتى يزودنا بمسافات واتجاهات وزوايا الطائرات المستقبلة.

اما الموجات الصوتية فهي مفيدة جداً في تقدير مسافات الاهداف الثابتة كما سبق ان رأينا في حالة تقدير المسافة للمدافع ذات الاماكن الثابتة. اما اذا تطور الامر واحتجنا الى قياس مسافات اهداف سريعة الحركة وبعيدة في الوقت نفسه فلا مناص من اللجوء الى الموجات اللاسلكية السريعة التي تفوق سرعتها سرعة اي شيء على وجه البسيطة .

الفصل الرابع

الف باء الرادار ..

مما ذكر في الفصول السابقة عرفنا أن الرادار يقيس لنا مسافة الهدف (وارجو ان تفرقوا من الآن فصاعداً بين كلمة المسافة Slant Range والمسافة الارضية) بارسال موجات لاسلكية من محطة ارسال لتصطدم بالهدف وتنعكس منه فتلتقطها محطة استقبال موجودة في مكان واحد مع محطة الارسال .

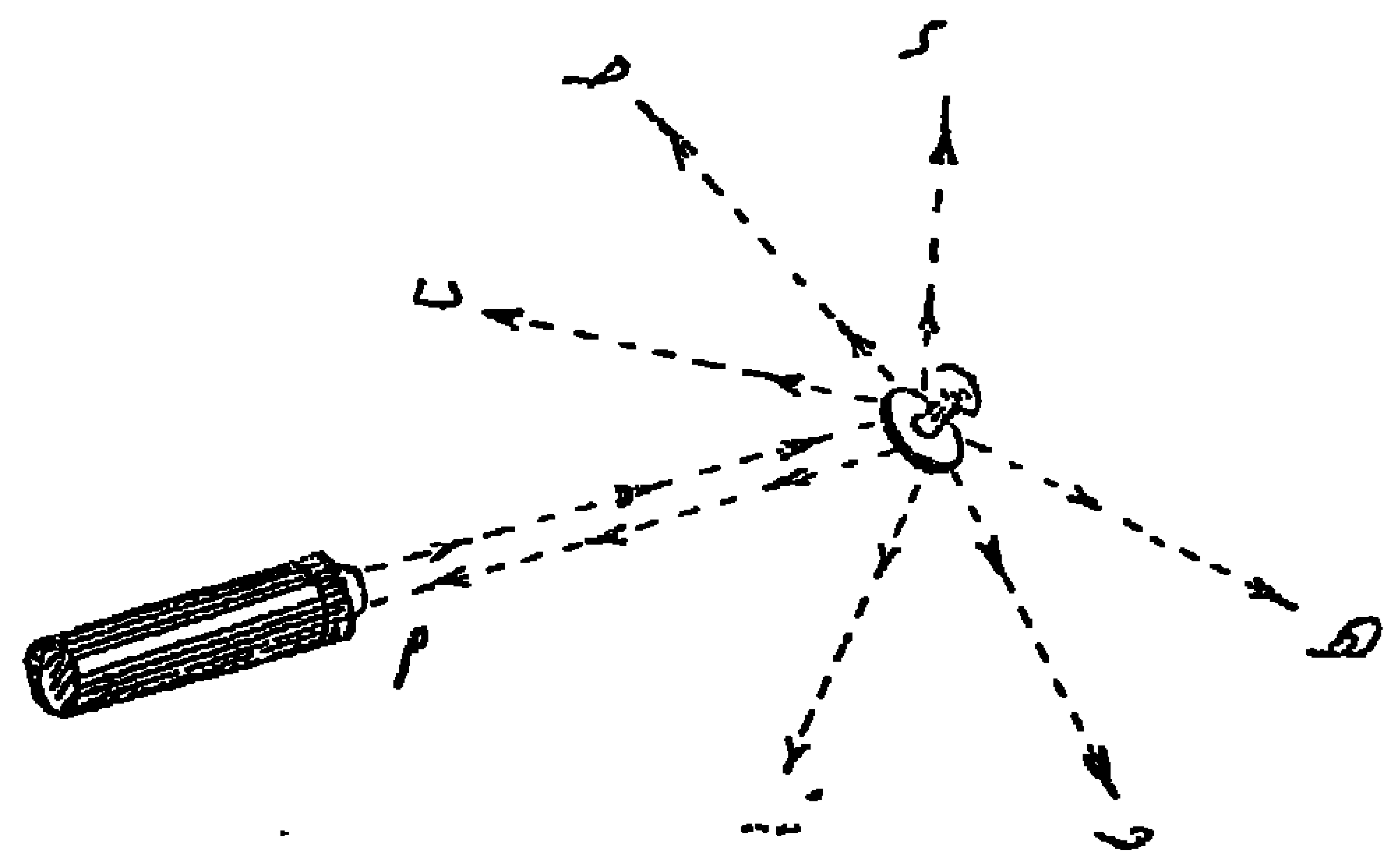
والآن ارى ان هناك نقطة محيرة تشغل الاذهان وهي تظهر في صورة سؤال يقول لماذا تعود اشعة الرادار الخيالية أي الموجات اللاسلكية ثانية الى المصدر الذي ارسلت منه ؟ وسوف يقال كذلك انه قد يُعقل ان تنعكس الموجات الاثيرية المرسلة من مرسل الرادار اذا كان سطح الهدف ناعماً أملس مستويا كما هي الحال حين تنعكس الاشعة الضوئيـة من على سطح مرآة ملساء ، ولكن معظم اهداف الرادار سواء كانت مراكب أو طائرات ، لها اجنحة ودفات ومحركات ومداخن وبروزات وصواري الى غير ذلك مما يبعدها كل البعد عن ان تكون ملساء او مستوية السطح فضلا عن انها تتركب من كتل كبيرة من المواد المختلفة ! اذن فمن الافضل ان يوضح

الغامض الآن مباشرة قبل ان يستفحل غموضه .

يرسل الرادار موجات قصيرة جداً كلها دون العشرة امتار في الطول ومن خصائص هذه الموجات انها تشبه الموجات الضوئية في تصرفاتها الى حد كبير . فان موجات الضوء اذا اخترقت وسطا كالهواء مثلا منتقلة الى وسط آخر ينحرف مجراها او تنكسر الاشعة . ويمكن ملاحظة ذلك عملياً اذا وضع جزء من عصا في اناء شفاف به ماء . فاذا نظرنا الى العصا من جهات مختلفة نجدها قد انثنت ظاهريا عند التقائها بسطح الماء فضلا عن ان الجزء المغمور في المياه منها يبدو وكأنه يشغل حيزا اكبر من الحيز الذي يشغله في الحقيقة . وبالطبع ليست هي العصا التي انثنت ولكنها أشعة الضوء التي تسقط على الجزء المغمور منها في المياه ، ثم تنعكس خارجة من الماء الى الهواء هي التي انثنت وانكسرت بتأثير اختراقها وسطين مختلفين .

هذا واذا اعترض سطح لامع كمرآة مثلا خط مرور موجات ضوئية بحيث كان هذا السطح عموديا على هذه الموجات فانها تنثني منعكسة منه ثانية الى المصدر الذي اتت منه . في حين انه لو كان السطح الذي اعترض الاشعة الضوئية غير املس ولا مستو كما هي الحال اذا أنت سلطت اشعة مصباح الجيب في الظلام للبحث عن شيء مفقود منك في ارض الغرفة كزرار مثلا ، فان الاشعة تتفرق في جميع الاتجاهات ولكن بعضها ينعكس عائداً الى مصدره والى العين اذا كانت قريبة من المصباح مما يجعلك ترى الزرار المفقود . كذلك اذا أنت تركت المصباح في مكانه وأشعته مسلطة على

الزرار ودرت حول هذا الزرار او الهدف من اتجاهات مختلفة فانك ستراه ايضاً .



الشكل (١٠) تتفرق موجات الضوء حين تصطدم بجسم غير مستو ولا منتظم في جميع الاتجاهات . ولهذا السبب يتفرق الضوء الساقط من المصباح اليدوي على الزرار المبين في اتجاهات مختلفة فيجعله مرئيا من النقط ب ، ج ، د ، ه ، و في حين يعود جزء من الاشعة الى المصدر الذي خرجت منه مما يجعل الزرار مرئيا من النقطة (ا) كذلك .

و بنفس الطريقة تنثني الموجات اللاسلكية القصيرة جدا و تتفرق حين تصطدم بسطح غير مستو مثل الاهداف التي يشتبك معها الرادار . والشكل (١١) يصور لنا ما يحدث حين تصطدم الموجات اللاسلكية القصيرة جدا الصادرة من مرسل بطائرة بعيدة ، إذ أنها تتناثر فيعود جزء من الاشعاع المتناثر الى المستقبل ب .

ومن الجائز ان يكون الجزء المرتد من الموجات صغيراً جداً . الا انه لو كان المستقبل ذو حساسية كافية فانه يستطيع استقبال هذا الجزء الضئيل وتكبيره حتى يصبح ذا فائدة في الدلالة على مكان الطائرة. وفي هذه الحالة ، تماما كما في حالة تقدير المسافة بصدى الصوت ، يقاس الوقت الذي قطعته

موجات اللاسلكي في رحلتها من المرسل حتى وصولها الى الطائرة ثم عودتها مرة ثانية الى المستقبل. فاذا امكن اتمام هذا التوقيت بدقة كافية بوسيلة ما لأصبح في مقدورنا قياس المسافات في جميع الاوقات والحالات ، نظراً لأن سرعة الموجات اللاسلكية معروفة وثابتة دائما ابدا. فهي لا تتغير سواء كان الجو حاراً او بارداً، في الظلام أو في الضوء، في الجو الصافي او الجو الملبد بالغيوم. ولكن المشكلة تقع في ان هذه السرعة خيالية ضخمة لا بد لقياسها كما يبدو لأول وهلة من عملية ضخمة كذلك. فلقد عرفنا ان هذه السرعة تبلغ حوالي ١٨٦ الف ميل او ٣٠٠ مليون متر في الثانية. ونظرة الى الشكل (١٢) تذكرنا بأن المسافة التي تقطعها الموجات اللاسلكية ذهابا وايابا إنما هي ضعف مسافة الهدف الحقيقية.

م ب

الشكل (١١)
تتفرق الموجات اللاسلكية الصادرة من المرسل (م) حين تصطدم بهدف غير منتظم الشكل كالطائرة المبينة. ولكن جزءاً صغيراً من هذه الموجات يعود فيستقبله المستقبل (ب).

فطول رحلة الموجات من المرسل م الى الهدف تساوي مسافة الهدف. ثم يعود الصدى اللاسلكي منعكساً الى المستقبل ب قاطعاً نفس المسافة مرة ثانية. والآن لنفرض اننا نستخدم جهاز رادار بعيد المدى للانذار المبكر، ولنفرض كذلك ان هناك هدفاً على مسافة ٩٣ ميلا. اذن فالمسافة التي تقطعها الموجات من الجهاز الى الهدف تساوي ١٨٦ ميلا: (٩٣ + ٩٣)

تقطعها في $\frac{١}{١٠٠٠}$ من الثانية . اي انه لكي تقاس مسافة هدف يبعد عنا تسعة اميال تقريبا يستدعي الامر قياس كسرة من الزمن لا تتجاوز $\frac{١}{١٠٠٠}$ من الثانية . ولكي يكون جهاز الرادار نافعاً فانه يجب ان يكون قادراً على قياس المسافات التي هي اطول من تسعة اميال واقصر بكثير من تسعة اميال ايضاً. أي انه من الضروري ان يكون بالجهاز اجهزة اخرى دقيقة تستطيع ان تقيس بمنتهى الدقة كسرة زمنية قد تصل الى جزء على مليون من الثانية. والى الآن لم تخترع ساعة لعد الثواني تستطيع ان تقوم بمثل هذه المهمة. فان ادق واحدث عداد ثواني معروف الى الآن لا يستطيع ان يقيس اقل من $\frac{١}{١٠}$ من الثانية .

الشكل (١٢)

تسافر الموجات اللاسلكية مسافة ٢٠٠٠ ياردة حين تكون مسافة الهدف ١٠٠٠ ياردة فقط . والسبب في ذلك ان هذه الموجات تقطع الرحلة ذهابا من المرسل الى الهدف ثم ايابا من الهدف الى المستقبل .

وفي الواقع ليست هناك وسيلة ميكانيكية تستطيع ان تؤدي لنا الغرض المطلوب نظراً لأن الاجهزة الميكانيكية تعمل بحركة اجزائها المختلفة المصنوع معظمها من المعدن . وبمراقبة بندول الساعة مثلا في حركته للامام وللخلف نجد أنه يقوم بجزء من دورة في اتجاه معين ثم يقوم بجزء من دورة في الاتجاه المضاد . فاذا نحن تأملنا مايحدث في كل حركة له لوجدنا انه يبدأ من حالة السكون ويتحرك

مكتسباً سرعة في اثناء قيامه بجزء الدورة في الاتجاه الاول ثم يبطىء سرعته ويقف ويغير اتجاهه ليكرر نفس العملية في الاتجاه المضاد .

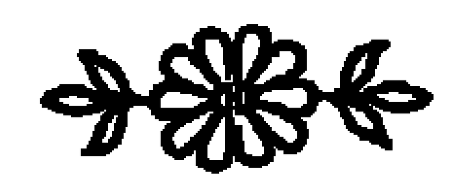
وكل شيء له وزن وكتلة له في نفس الوقت خاصيتان اخريان هما القصور الذاتي وهو ما يجعل هذا الشيء يقاوم الحركة طالما انه ساكن، والعزم وهو ما يجعله يقاوم اي تغيير في سرعته طالما انه في حالة حركة . وبندول الساعة (وهو جسم له وزن وكتلة) يقاوم مرتين في كل دورة له كلتاهما ضد وقوفه طالما هو في حالة حركة . والنتيجة ان هناك حداً أقصى للمعدل الذي يستطيع ان يؤدي به هذا البندول أرجحته في الاتجاهين ولا يستطاع بأي حال تجاوز هذا الحد .

كما ان خاصيتي القصور الذاتي والعزم تستلزمان تأخيراً طفيفاً في بدء الحركة والوقوف ، بينما من الاستحالة قبول مثل هذا التأخير مهما كان بسيطا طالما نحن بصدد قياس جزء على مليون من الثانية . أي انه ليس في الامكان استخدام الاجهزة الميكانيكية لاجراء هذا القياس . وعلينا أن نبحث عن شيء يستطيع الوقوف ثم الحركة دون أدنى تأخير مئات بل آلاف المرات في الثانية الواحدة فاذا وجدناه أصبح في استطاعتنا اجراء مثل هذا القياس الدقيق .

وكما لجأنا الى الموجات اللاسلكية التي تبلغ سرعتها اقصى سرعة معروفة في دنيانا هذه لكي تسري بسرعة تساعد في الحصول على أصداء لاسلكية من الاهداف السريعة الحركة ، وُجد أن ابدع وسيلة لقياس هذه الفترات الزمنية الخيالية في ضآلتها والتي تقطع فيها هذه الموجات السريعة المسافة

الى الهدف ذهابا وايابا هى ان نُسخِّر في خدمتنا تلك الجسيمات المتناهية في الصغر والتي لم يعرف الى الآن ما هو أخف أو اصغر منها ألا وهى الالكترونات . فباستخدامها سوف نتخلص الى غير رجعة من متاعب القصور الذاتي والعزم وسوف نتمكن من تشغيل اجهزة تقيس لنا فترات زمنية يصعب تخيل قصرها .

وفي الفصل القادم بحث في الالكترونات كافٍ لكي يجعل القارىء يكوّن فكرة واضحة عن هذه الجسيمات وخواصها وعن الدور الذي تلعبه في التركيب البنائي للذرة .



الفصل الخامس

التركيب البنائي للذرة والالكترونات

مقدمة : كان لا بد لي وأنا على وشك ان أعالج في الابواب القادمة مواضيع سيرد فيها ذكر الالكترون كثيراً ، أقول كان لابد من ان اجذب اهتمامكم الى معرفة شيء عن هذا الجسيم. ولكي يسهل ذلك فمن الضروري ان امهد له بنبذة مختصرة عن التركيب البنائي للذرة. وكي يكون هذا البحث الشبه فني غير ممل وجدت انه من الانسب ان اورد بعض المعلومات التاريخية في اوله .

ماهي الذرة ؟ : قليلون هم الذين عنوا بأن يجدوا اجابة شافية لهذا السؤال وكثيرون هم الذين اهتموا بتوجيه هذا السؤال للقليلين الذين بحثوا وكان مثار كل هذا الاهتمام هو اختراع القنبلة الذرية التي اخذت اسمها من الذرة فما هي الذرة ياترى ومم تتكون ؟

يقول البحاثة والعلماء اننا لكي لانكون جحودين او منكرين فضل اصحاب الفضل يجب ان نتوجه بالشكر للاغريق وخصوصاً *ديموكريتس* ذلك الفيلسوف العالم الذي عاش في *ابديرا* من اعمال *تريس* باليونان حوالى ٤٠٠ سنة قبل الميلاد ، ومن قبله طاليس الذي عاش في اليونان في بلاد الاغريق كذلك حوالي ٦٠٠ سنة قبل الميلاد . فلقد اغرتهم فلسفتهم على التعمق

في البحث عن المكونات الاساسية للمادة بجميع اشكالها . والعقل البشري ميال بطبعه دائما لدراسة الطبيعة وتفهم اسرارها . كان اعتقاد هذين الفيلسوفين وغيرهم امثال لوسيبوس ولوكريتيوس أننا لو أتينا بقطعة صغيرة من اي مادة وقطعناها الى اجزاء صغيرة وهذه الاجزاء الى اصغر منها وهكذا لوصلنا الى مرحلة لايستطاع عندها تقسيم الجسيمات الناتجة من عملية التقسيم السابقة الى اصغر منها . واعتبروا ان هذه الجسيمات الغير قابلة للتجزئة هى المكونات الاساسية للمواد واطلقوا عليها الاسم الاغريقى أتوموس أو الغير قابل للتجزئة وسميناها نحن بلغتنا الذرة او الجوهر الفرد .

ولقد ظل البحث في الذرات وخواصها فرعا من فروع الفلسفة الكلامية حتى النصف الاول من القرن التاسع عشر حين تقدمت دراسة الكيمياء تقدماً كبيراً وازدادت اعمال البحث العلمي فقام العالم الكيميائي الانجليزي جون دالتون في مانشستر باثبات وجود الذرة ودلل على صحة هذا الرأي بتجارب ناجحة في التفاعلات الكيميائية ونشأت فكرة الجزىء الذي هو عبارة عن عدة ذرات مجتمعة معا .

النظرية الذرية : وصل دالتون واتباعه الى نتائج أجملت في نظرية سميت **النظرية الذرية** على اعتبار انها نظرية علمية اتفقت مع الحقائق التي اثبتتها التفاعلات الكيميائية وتتلخص هذه النظرية في الآتي :—

١ — الذرة هى اصغر جزء من المادة يمكن ان يوجد منفصلا في الطبيعة وقطرها حوالي ١٠—٨ سم .

٢ — ذرات العنصر الواحد متشابهة ولكنها تختلف عن ذرات العناصر

الاخرى (العنصر هو المادة التي لايمكن تقسيمها بأية طريقة معروفة الى مواد اخرى فالنحاس والحديد والاكسوجين عناصر) .

٣ — تتوقف الخواص الطبيعية والكيميائية لأية مادة على خواص ذراتها وقد قسمت المواد المعروفة حتى الآن الى قسمين : وهما العناصر والمركبات وهذه الاخيرة تتألف من ذرات العناصر مجتمعة على هيئة جزيئات فالماء مثلا وهو احد المركبات مؤلف من جزيئات وكل جزيء مكون من ذرتين من ذرات عنصر الايدروجين وذرة من ذرات عنصر الاكسوجين والاكسوجين رغما عن كونه عنصر فهو مكون من جزيئات الا أن كل جزيء يتألف من ذرتين متشابهتين من ذرات عنصر الاكسوجين.

بهذه الطريقة امكن ارجاع جميع المواد التي كانت معروفة في ذلك الوقت الى حوالي ٧٠ عنصراً لكل منها نوع خاص من الذرات . وقد زاد هذا العدد حتى وصل في الوقت الحالي الى ٩٤ عنصراً .

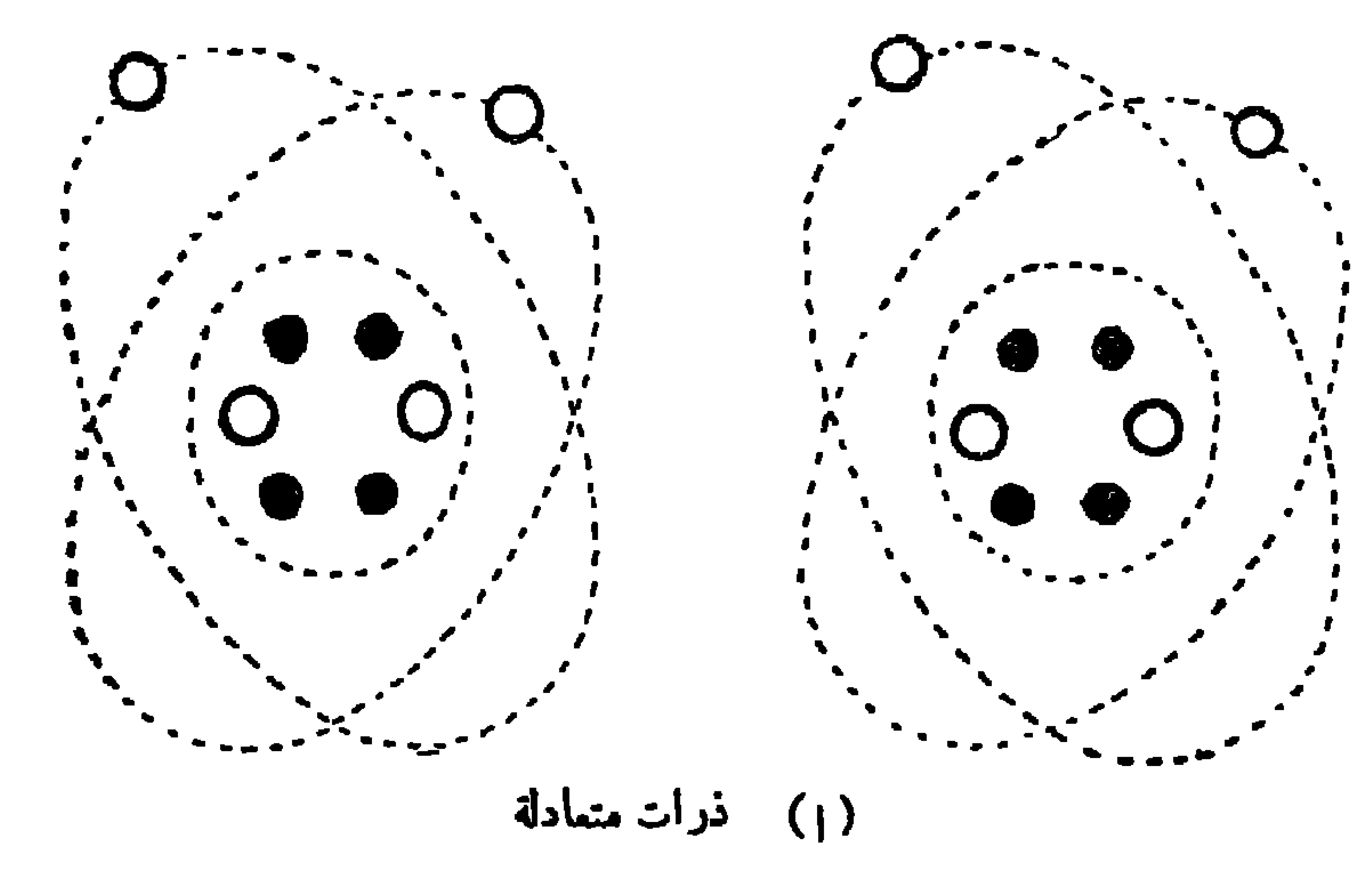
كيف بدأ البحث فى تركيب الذرة : في عام ١٨٩٠ وجد أن النظرية الذرية التي بنيت خطأ على المعنى الحرفي لكلمة اتوموس الاغريقية تحتاج الى توضيح بل الى تعديل جوهري وذلك للتطور الخطير الذي حدث في العلوم الطبيعية . فلقد امكن تصوير الذرات فوتوغرافياً واحدة واحدة وبذلك تحول الكلام عن الذرات من مجرد فرض او نظرية علمية الى حقيقة واقعة واصبحت الذرة شيئاً خاضعاً للمراقبة المباشرة، ثم ان الذرة التي كان يظن انها غير قابلة للتجزئة قد ثبت انها تتجزأ فبعض الذرات تتهشم من تلقاء نفسها كذرات الراديوم واليورانيوم وغيرهما من العناصر ذات

النشاط الاشعاعي ، والبعض الآخر يمكن تحطيمه أو تهشيمه بوسائل خاصة .

واخيراً ثبت ان بين ذرات العنصر الواحد ، وهي التي كان يظن انها متشابهة من جميع الوجوه ، اختلافا في الوزن دون ان يكون لذلك ادنى اثر في خواصها الكيميائية أو في طبيعة الاشعاع الصادر منها .

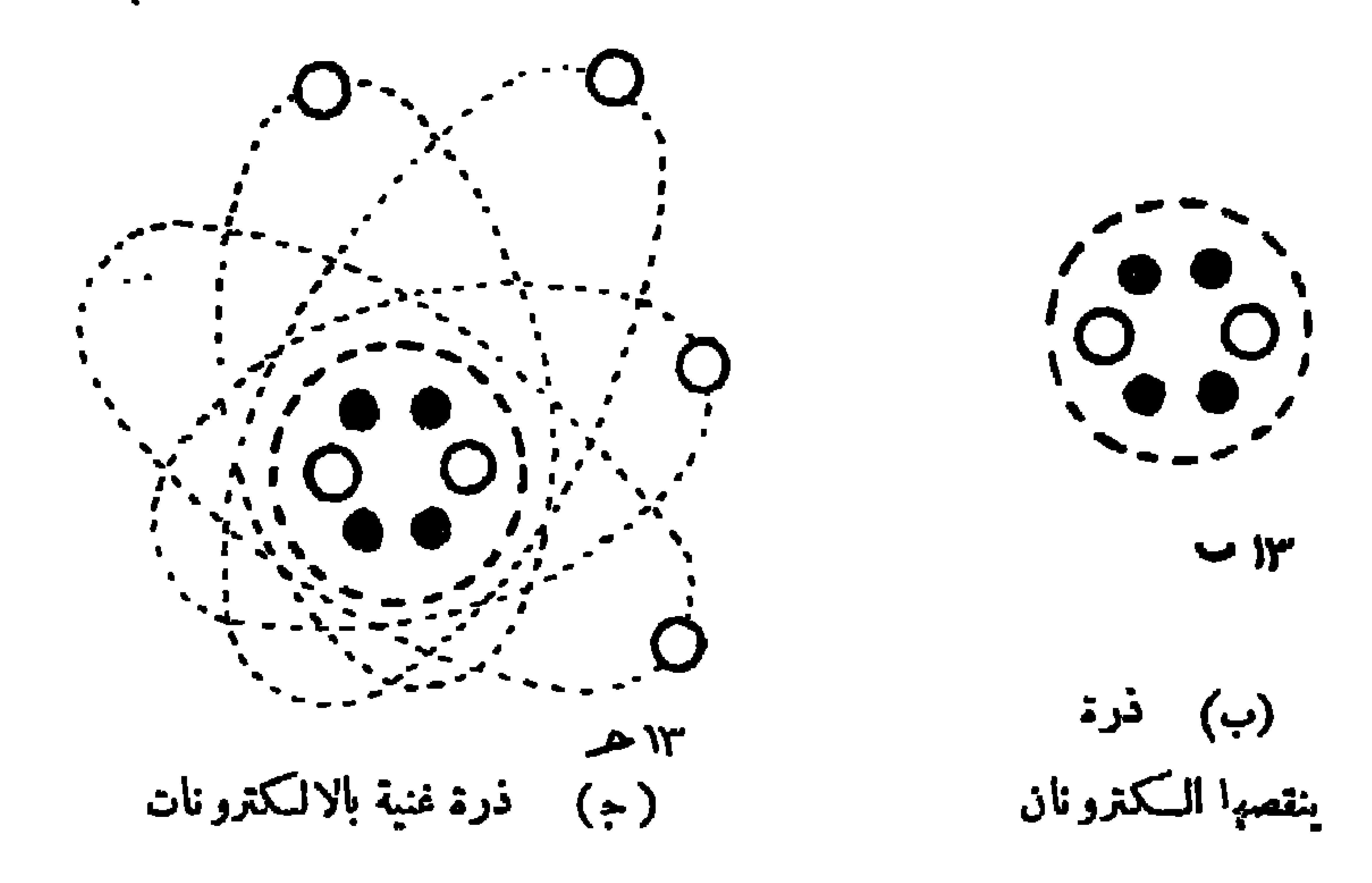
تركيب الذرة ونظرية الالكترون : اكتشف العلماء ان هناك ما هو أخف وزناً من ذرة الايدروجين (وهي التي كان معروفاً الى ما قبل اوائل القرن التاسع عشر انها اخف ما يوجد في الطبيعة) ألا وهو الالكترون وهو جزء من مكونات الذرة نفسها ووزنه حوالى $\frac{١}{١٨٤٠}$ من وزن ذرة الايدروجين) وحتى عام ١٩١١ لم يكن العلماء يعرفون الا القليل عن طريقة اجتماع اجزاء الذرة في داخلها وكل ما كان معروفا هو أن ذرات العناصر ذات النشاط الاشعاعي الغير مستقرة تتهشم وتنبعث منها جسيمات بعضها يحمل كهرباء موجبة و بعضها يحمل كهرباء سالبة واصطلح على تسمية الجسيمات التي تحمل كهرباء سالبة *الكترونات* وقد توصل العالم الانجليزي *لورد ارنست رذرفورد* وهو احد كبار العلماء الذين تخصصوا في الابحاث الذرية الى نتيجة هامة ألا وهي ان كل ذرة تتألف من نواة أصغر كثيراً من حجم الذرة ذاتها وتحيط بها الكترونات تتحرك في فراغ يحيط بالنواة وهذه الالكترونات او الكهارب تشغل الجزء الخارجي في البناء الذري ، أما النواة فهي المركز الذي تجتمع حوله بقية مكونات الذرة وتتركز فيها مادة الذرة بحيث يكون وزن النواة

مساويا تقريباً لوزن الذرة بأكمله والسبب في ذلك هو ان الجزء الخارجي من الذرة وهو الالكترونات خفيف جداً .



(١) ذرات متعادلة

ويختلف عدد الالكترونات المحيطة بالنواة باختلاف العناصر فذرة الايدروجين لها نواة يحيط بها الكترون واحد وذرة الهليوم لها نواة

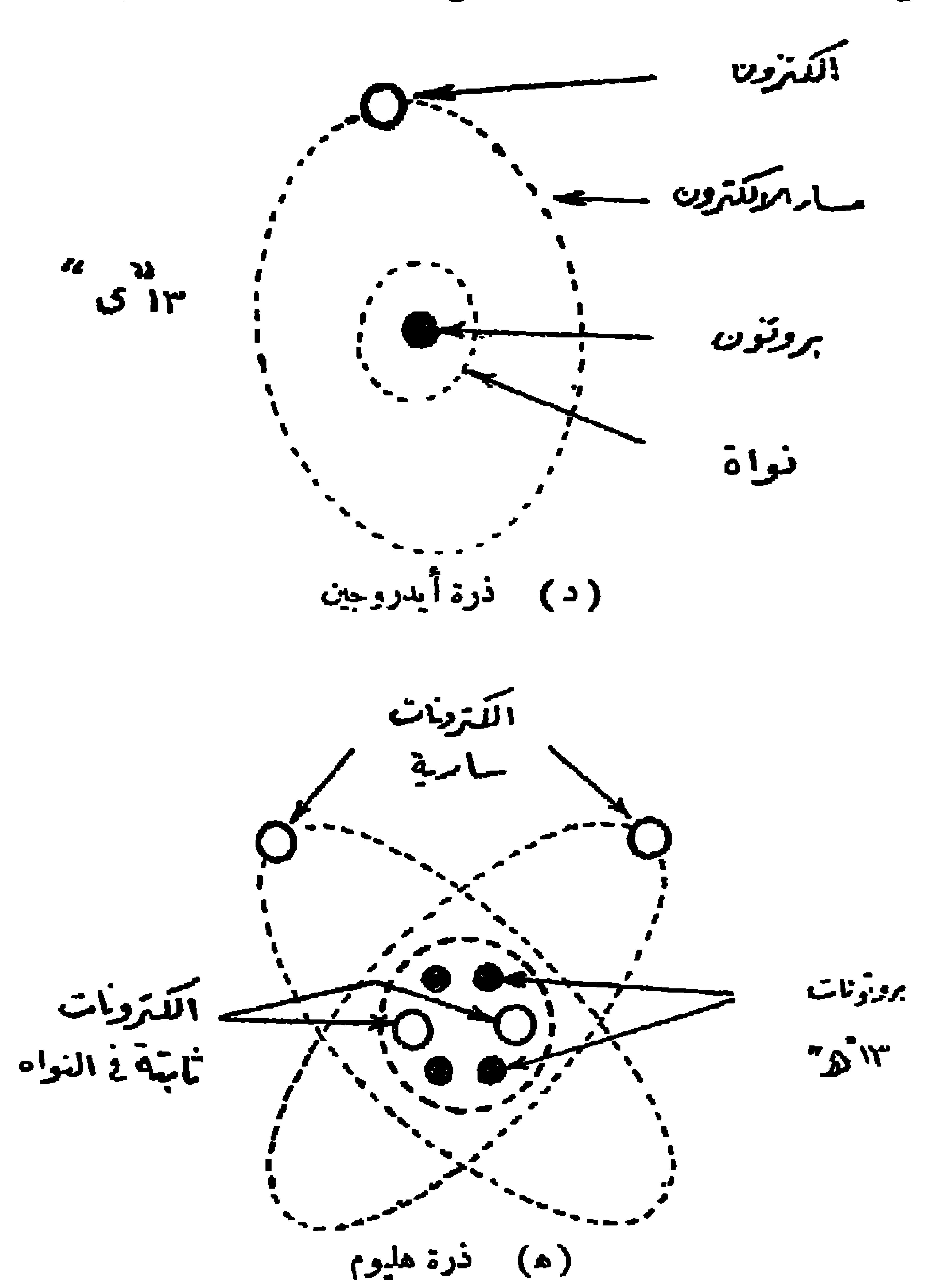


(ب) ذرة ينقصها الكترونان

(ج) ذرة غنية بالالكترونات

يحيط بها الكترونان، وذرة الحديد بها ٢٦ الكترونا وهكذا . ولا يزيد

قطر النواة عن $\frac{١}{١٠٠٠٠}$ من قطر الذرة نفسها أما قطر الذرة فيتراوح بين جزء من مائة مليون جزء وجزء، من عشرة ملايين جزء من السنتيمتر وقد



(د) ذرة أيدروجين

(هـ) ذرة هليوم

اطلق اسم البروتون على نواة الايدروجين الخفيف. وللتبسيط يمكن القول ان النواة تتكون من بروتونات وهذه البروتونات تحمل كهرباء موجبة في حين تسري الالكترونات المحيطة بالنواة حولها في افلاك مختلفة

الاتجاهات بحيث لايتصادم الكترونان ابداً ولا يغير اي الكترون اتجاه سيره. وتبلغ سرعته في داخل الذرة حوالي ١٠ ميل في الثانية ، ويحمل كل الكترون كمية معينة من الكهرباء السالبة مساوية تماماً لما تحمله كل من الالكترونات الاخرى. واصبحت هذه الكمية وحدة ثابتة من وحدات علم الطبيعة وهى تساوي ٤٫٧٧٤ من عشرة آلاف مليون جزء من وحدات الكهرباء الاستاتيكية . اذن فالالكترونات المحيطة بالنواة تحمل عدداً من هذه الوحدات الكهربائية يساوي عدد الالكترونات . ولما كانت الذرة في مجموعها متعادلة من الناحية الكهربائية وجب ان تحمل النواة عدداً من الوحدات الكهربائية الموجبة مساوياً لعدد الالكترونات المحيطة بها وذلك لكي تتعادل الكهرباء الموجبة والكهرباء السالبة في الذرة .

الرقم الذرى : وجد ان نواة الذرة تحتوي على عدد من الالكترونات علاوة على ما بها من بروتونات ونظراً لتعادل الذرة كهربائياً (عدد الالكترونات مساو لعدد البروتونات) فانه لو فرضنا ان عدد البروتونات هو + م وعدد الالكترونات الداخلة في تركيب النواة هو — ن ففى امكاننا ان نعرف عدد الالكترونات الخارجية او السارية بالمعادلة + م — ن = عدد الالكترونات الخارجية ويساوي في نفس الوقت الرقم الذري للعنصر اي يساوي الرقم المتسلسل للعناصر مرتبة حسب أوزانها الذرية .

طبقات الالكترونات : توصل موزلى وهو شاب انجليزي اشتغل بالابحاث الذرية حوالي عام ١٩١٠ وقتل في جاليبولي في اغسطس سنة ١٩١٥

الى معرفة طريقة توزيع الالـكترونات حول النواة فوجد انها تقع في طبقات : طبقة داخلية تحيط بها اخرى ثم ثالثة وهكذا . وقد وجد ان لكل طبقة عدداً ثابتاً من الالكترونات هو اكبر عدد يجوز ان يحل بهذه الطبقة . فالطبقة الداخلية بها الـكترونان ثم التي تليها للخارج ٨ ثم التي تليها ١٨ ثم التي تليها ٣٢ ويتناقص العدد بعد ذلك الى الطبقات الخارجية .

ملحوظة : — قبل ان ننتقل الى الشرح التفصيلي للالكترون اضيف ان البحث السابق ان هو إلا قشور في البحث الذري وللتفصيل يمكن الرجوع الى كثير من الكتب التي صدرت والتي تعالج ابحاث الذرة فهي مراجع أوفى دون شك .

الالكترون : اذا افترضنا وجود لوحين معدنيين ووضعنا هذين اللوحين موازيين لبعضهما دون ان يكون هنالك أي اتصال بينهما وكانت اسطحهما الداخلية في منتهى النعومة ثم عملت عدة ثقوب صغيرة في منتصف اللوح العلوي وأتينا ببطارية كهربائية ووصلنا طرف منها باللوح العلوي وآخر باللوح السفلي ثم اسقطنا عدة نقط من رذاذ الزيت بواسطة قطارة خلال الثقوب الموجودة في اللوح العلوي ، فما الذي نتوقع مشاهدته لو استخدمنا مجهراً ذا بؤرة بعيدة لرؤية نقط الزيت هذه ؟ لو لم تكن البطارية موصلة لسقطت هذه النقط بفعل التثاقل على اللوح السفلي ، ولكن حين يتم توصيل البطارية نلاحظ ان نقط الزيت تقف في منتصف المسافة بين اللوحين فلا تسقط على اللوح السفلي بل تميل الى الارتفاع الى اعلا ويزداد هذا

الميل تبعاً لقوة البطارية . وهذه الظاهرة لا تعني إلا شيئاً واحداً وهو ان نقط الزيت قد تكهربت وانها حصلت على شحنتها الكهربائية حالما تحلل الزيت الى رذاذ اثناء خروجه من فتحة القطارة . وبضبط البطارية يمكن جعل احدى هذه النقط تثبت في مكانها في منتصف المسافة بين اللوحين بالضبط، وفي هذه الحالة تكون قوة الجذب لاسفل بسبب الثقل مساوية لقوة الجذب الكهربائية لأعلا . ومن هذه النتيجة وبعمليات معقدة أوفر على القارىء مؤونة سردها امكن قياس الشحنة الكهربائية التي اكتسبتها نقطة الزيت المعلقة فوجد انها تساوي كمية ثابتة محددة تحديداً قاطعاً او تساوي مضاعفات هذه الكمية بالضبط ولكنها لا تساوي نصفها او ثلاثة ارباعها مثلا . وبتعبير آخر نستطيع القول ان الطبيعة قد بنت عالمها الكهربائي من وحدات او كتل ككتل الاحجار التي تستعمل في البناء وليس كتلة واحدة كحائط الاسمنت مثلا وأن هذه الكمية الضئيلة من الكهرباء هي الالكترون وقد اكتشفه ستوني عام ١٨٧٤ ولكن العالم العلمي لم يقتنع به إلا ما بين عامي ١٩٠٩و١٩١٣ بواسطة العالم مليكان . ولكي ادلل لقرائي على ضآلة شحنة الالكترون الكهربائية اعطي مثلا بسيطاً : اذ لو تخيلنا ان ثلاثة ملايين شخص اخذوا في العد ثماني ساعات يوميا من عصر حرب طروادة الى وقتنا هذا لتمكنوا بالكاد من عد الالكترونات التي تسري في فتيلة مصباح كهربائي عادي في ثانية واحدة .

كتلة الالكترونات : كنت على وشك ان اكتب تجربة علمية لاثبات كتلة الالكترونات ولاثبات ان سرعتها تبلغ عشرة ملايين ميل في الساعة في

الانابيب المفرغة ، لا اغالى ان قلت انها مسلية ومملة في نفس الوقت، ولكن خوفا من ان يغلب جانب الملل آثرت ان اورد بدلا عنها مثالا استطيع بواسطته ان اعطي فكرة عن ضآلة هذا الجسم الذى ندعوه الالكترون واولئك الذين يرغبون في الاستزادة يمكنهم الرجوع الى تجربة تومسون التي اجراها عام ١٨٩٧ لايجاد كتلة الالكترون ومعرفة سرعته في انبوبة مفرغة . ولقد وجد تومسون بهذه التجربة اننا نحتاج الى ٥٠٠ بليون بليون الكترون لنكون رطلا واحداً من الالكترونات . فلنترك تومسون وتجربته وحساباته لنرى ما يحويه المثال : بماذا تجيب لو سئلت عما يحويه صمام من صمامات جهاز الراديو الذي افترض انك تملكه ؟ بالطبع سوف تجيب وانت واثق تماما من صحة اجابتك : فراغ . ولكن ماهو الفراغ ؟ يعرّف القاموس الفراغ انه خلو من المادة في المنطقة المفرغة وبكلمات اخرى خلو الصمام من أي جزيء من جزيئات الهواء التي كانت تملؤه قبل تفريغه . ولكن هل هذه هي الحقيقة والواقع يا ترى ؟ الجواب ان ذلك ليس هو الواقع بالضبط فرغما عن تطور العلم واتساع نطاق الابحاث لم يتيسر حتى الآن قطعياً ، ولا اظن انه سيتيسر في المستقبل ، الحصول على فراغ كامل مهما اتبعنا من وسائل . فهذا الصمام يكون ممتلئاً بجزيئات الهواء قبل بدء عملية التفريغ ، وكل ملليمتر مكعب (وهو ما يساوي حجم رأس الدبوس تقريباً) يحتوي على ٤٠٠٠٠ مليون مليون جزيء من جزيئات الهواء والجزيء كما اظنك تذكر يحتوي على عدد من الذرات وكل من هذه الذرات قد تحتوي على عددين متساويين من البروتونات والالكترونات . فاذا بدأت عملية

التفريغ ينشأ عندنا الفراغ داخل الصمام • ولكن هذا الفراغ ليس تاما كما قلت اذ يتبقى في الانبوبة حوالي $\frac{١}{\text{عشرة مليون}}$ مما كان بها اصلا من الهواء فاذا قسمنا اربعين الف مايون مليون على عشرة مليون يكون الناتج ٤ آلاف مليون وهو عدد جزيئات الهواء المتبقية في كل ملليمتر مكعب من الفراغ المزعوم . فاذا عرفت ان تعداد سكان العالم هو حوالي الفين مليون شخص هالك ولا شك ان تتصور ان كل ملليمتر مكعب في حجم الصمام المفروض انه قد تم تفريغه يحتوي على بقايا من جزيئات الهواء تكفي لأعطاء اثنين لكل رجل وامرأة وطفل من سكان العالم. والجزيء اكبر كثيرا من الذرة والذرة اكبر كثيراً من الالكترون فماذا يكون حجم الالكترون اذن ؟ من الافضل ان اترك لقرائي تصور ذلك . وضآلة كتلته تساعده على السريان بسرعة خيالية ثم الوقوف ليعكس اتجاه سيره ويبدأ سريانه من جديد آلاف المرات في الثانية الواحدة دون ادنى تأخير تقريباً لو اننا اردنا ذلك ، ومن ملايين من هـذه الالكترونات يتكون ما نسميه التيار الكهربائي . فلكل ما سبق يمكننا اعتبار الالكترون العامل الاول الذي مكن العلماء من اختراع انبوبة شعاع المهبط او كما يلذ للبعض ان يسميها عداد الثواني للرادار ولو انها تقيس لنا اجزاء على مليون من الثانية .

كلمة اخيرة عن الشحنات الكهربائية : عرفنا ان الذرات متعادلة كهربائيا اي ان الشحنات الموجبة فيها تساوي الشحنات السالبة ولكن من الجائز ان تفقد بعض الذرات او يضاف اليها مؤقتاً الكترونا او اكثر في الطبقات الخارجية من الالكترونات ، وفي هذه الحالة تفقد الذرة توازنها الكهربائي

وتصبح مشحونة اما موجبا او سالبا وهـذا يتوقف على ما اذا كانت الالكترونات قد اضيفت اليها او فقدت منها : فاذا زاد على الذرة الكترون او اكثر اصبحت شحنتها سالبة وبالعكس . والشحنات المتماثلة تتنافر اي ان الالكترونات تتنافر مع بعضها كما ان الشحنات المختلفة تتجاذب . وقوة الجذب او التنافر هذه تفوق كثيرا قوة الجاذبية الارضية العادية .

الفصل السادس

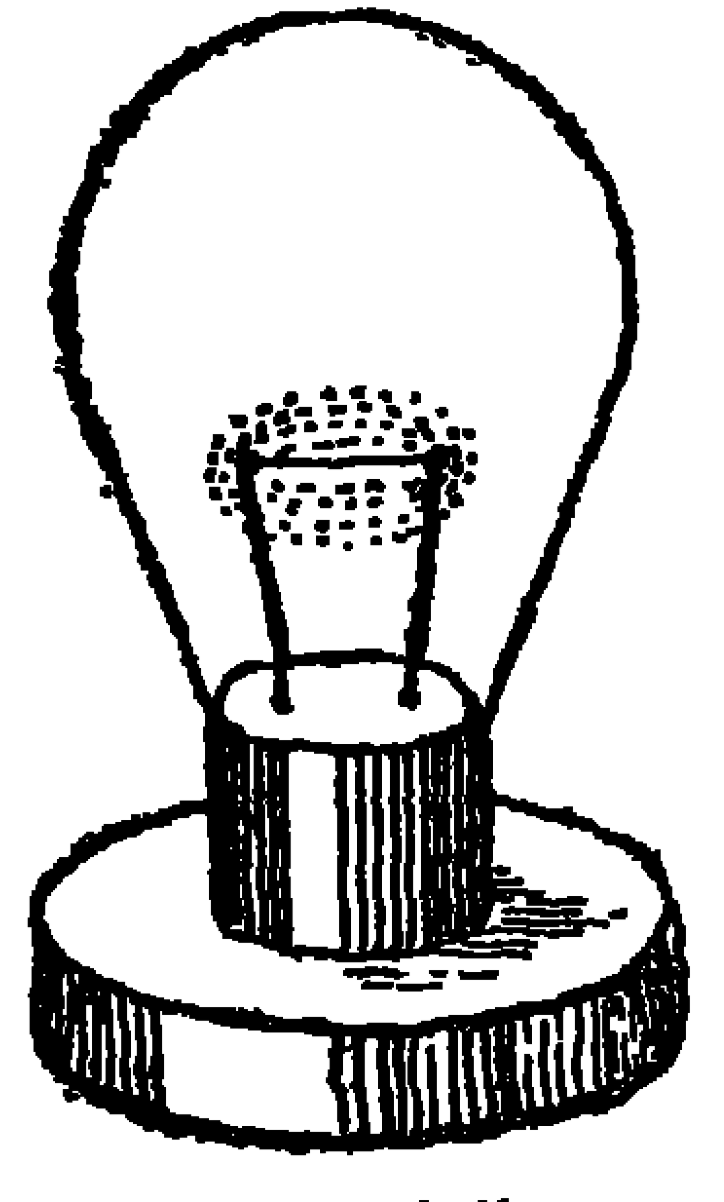
انبوبة شعاع المهبط

CATHODE RAY TUBE

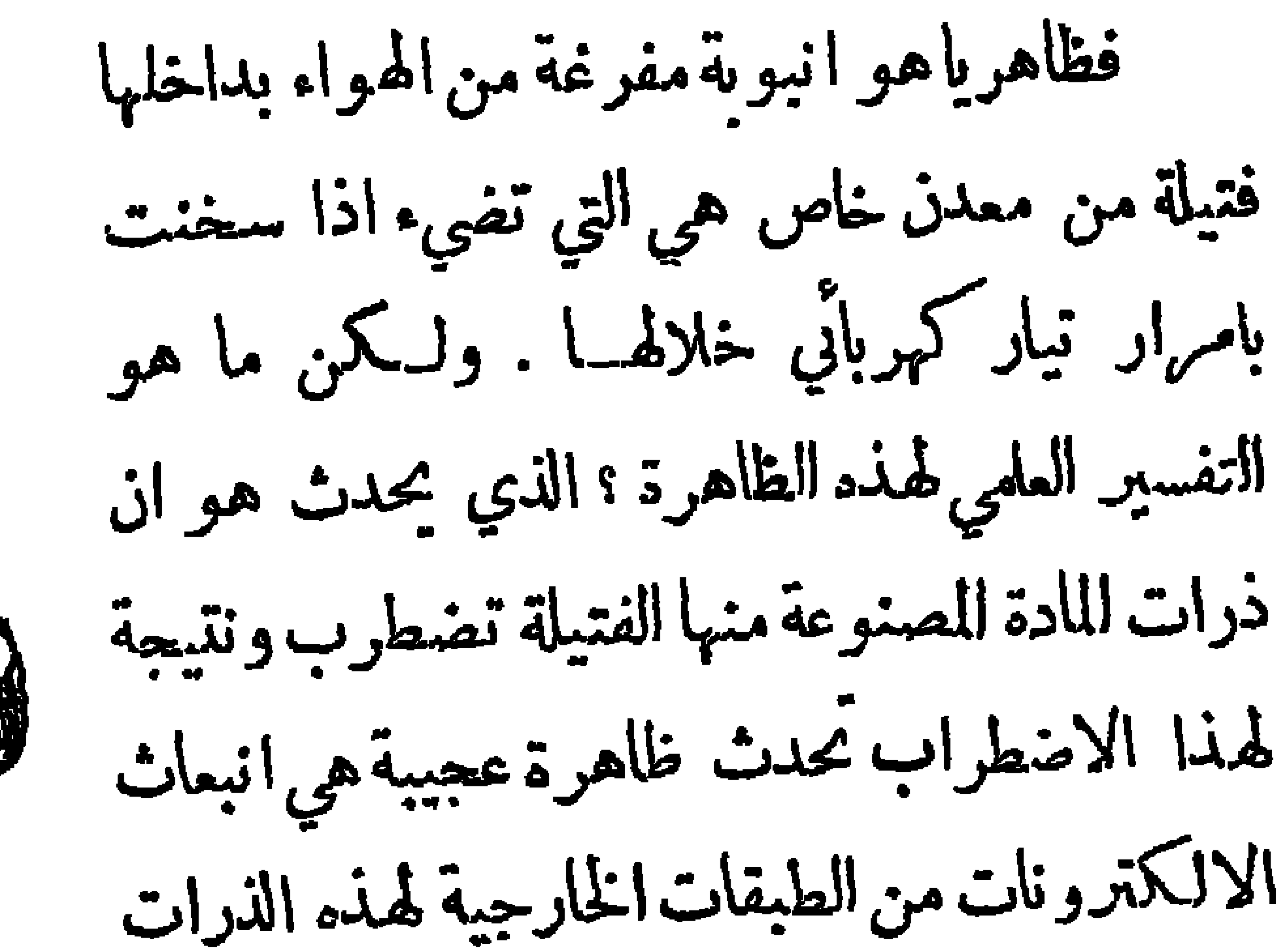
مقدمة : جاء في الفصل الرابع ذكر الجهاز الذي يستطيع ان يقيس الجزء على مليون من الثانية . وقلنا في نهاية الفصل ان الالكترون قد سُخّر ليشغل لنا مثل هذا الجهاز . وانبوبة شعاع المهبط هي ذلك الانتاج العجيب للعقل البشري الذي ذلل لنا هذه الصعوبة بجانب الفوائد الاخرى الجمة التي تؤديها . فالعين السحرية Majic eye التي توجد في كثير من اجهزة الراديو الحديثة وفي مقاييس الموجات ، والتي تساعد في التوليف وضبط المحطات بمنتهى السرعة والدقة إن هي إلا صورة مصغرة من انبوبة شعاع المهبط كما انها هي القلب النابض لجهاز التليفزيون . فوجه الانبوبة هو الشاشة التي تظهر عليها البرامج المذاعة . ولكن هل هي جهاز معقد التركيب مبني على نظرية عويصة ؟ العكس هو الصحيح . فهي مثل اعظم الاختراعات العلمية المفيدة بسيطة في شكلها وتركيبها . واذا كان الفصل الخامس قد اتى بالفائدة المرجوة فلا شك ان الانبوبة ستبدو ابسط من ان ينفق فصل كامل في شرحها وتبيان الطريقة التي تعمل بها . ولا بأس من ان أُذكّر القارىء قبل ان ندخل في التفاصيل بأن الالكترون هو جسيم ضئيل

ذو شحنة كهربائية سالبة . وان الشحنات المماثلة تتنافر وان الشحنات المختلفة تتجاذب .

صمامات الراديو العادية : من المفيد لتسهيل شرح الانبوبة ان نستعرض بسرعة المراحل التي مرت بها وتطورت خلالها . ففى الشكل (١٤) رسم لمصباح كهربائي عادي ، وكلنا يملك الكثير من هذه المصابيح ، ولكن اقلية منا هم الذين حاولوا ان يعرفوا ماذا يحدث في داخل هذا المصباح .

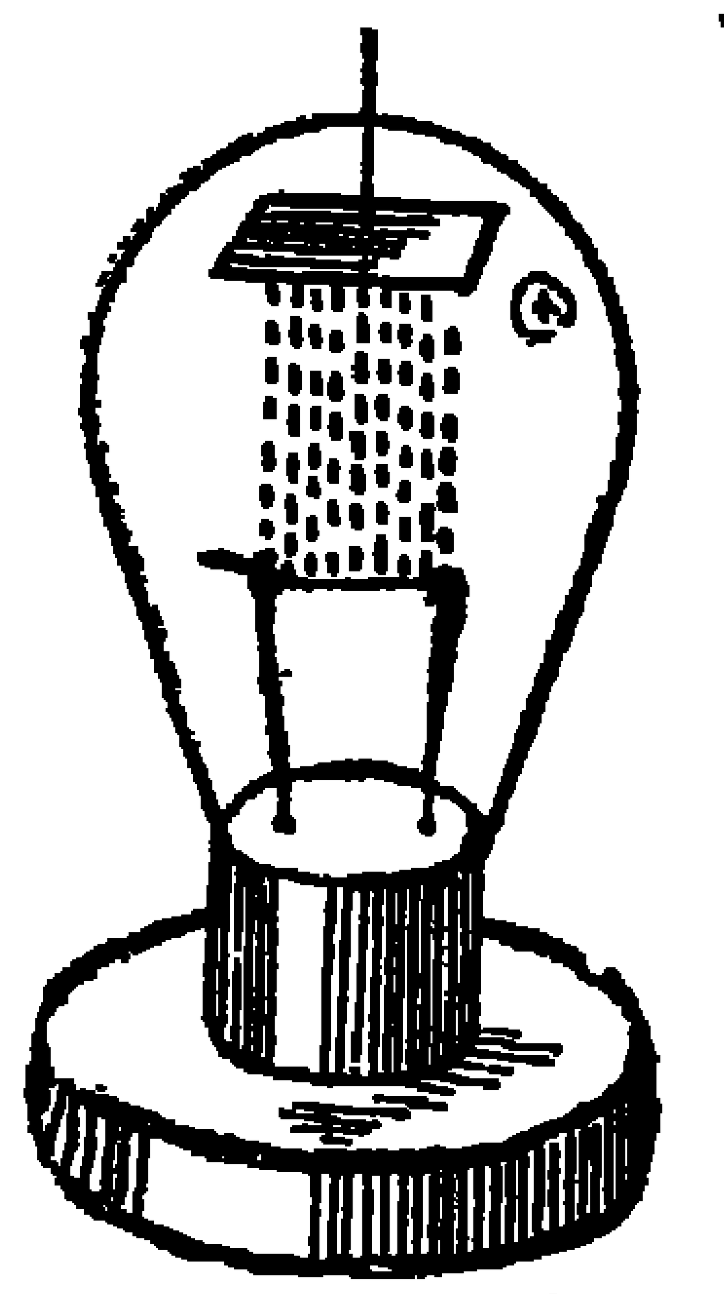


الشكل (١٤)
الفتيلة الساخنة محاطة
بسحابة من الالكترونات



فظاهريا هو انبوبة مفرغة من الهواء بداخلها فتيلة من معدن خاص هي التي تضيء اذا سخنت بامرار تيار كهربائي خلالها . ولكن ما هو التفسير العلمي لهذه الظاهرة ؟ الذي يحدث هو ان ذرات المادة المصنوعة منها الفتيلة تضطرب ونتيجة لهذا الاضطراب تحدث ظاهرة عجيبة هي انبعاث الالكترونات من الطبقات الخارجية لهذه الذرات وهى في انبعاثها تشبه تبخر جزيئات الماء في الهواء حين غليانه . وتسري هذه الالكترونات قليلا حول الفتيلة ثم تعود اليها ثانياً . والنتيجة هى ان الفتيلة تكون محاطة دائما بسحابة من الالكترونات التي تتحرك بسرعة وباستمرار . والآن ترى ماذا يحدث لو أتينا بلوح معدني وادخلناه في المصباح وقمنا بلحام السلك المعلق به في الزجاج كما هو مبين في الشكل (١٥) ؟

اننا لو وضعنا على هذا اللوح شحنة كهربائية موجبة بتوصيله بالطرف الموجب لبطارية كهربائيـة لاندفعت معظم سحابة الالكترونات السالبة بسرعة اليه منجذبة بتأثير شحنته الموجبة مستجيبة للنظرية التى تقول ان الشحنات المختلفة تتجاذب . وهذه هي النظرية الاساسية لصمامات الراديو وبالتالي لانبوبة شعاع المهبط .



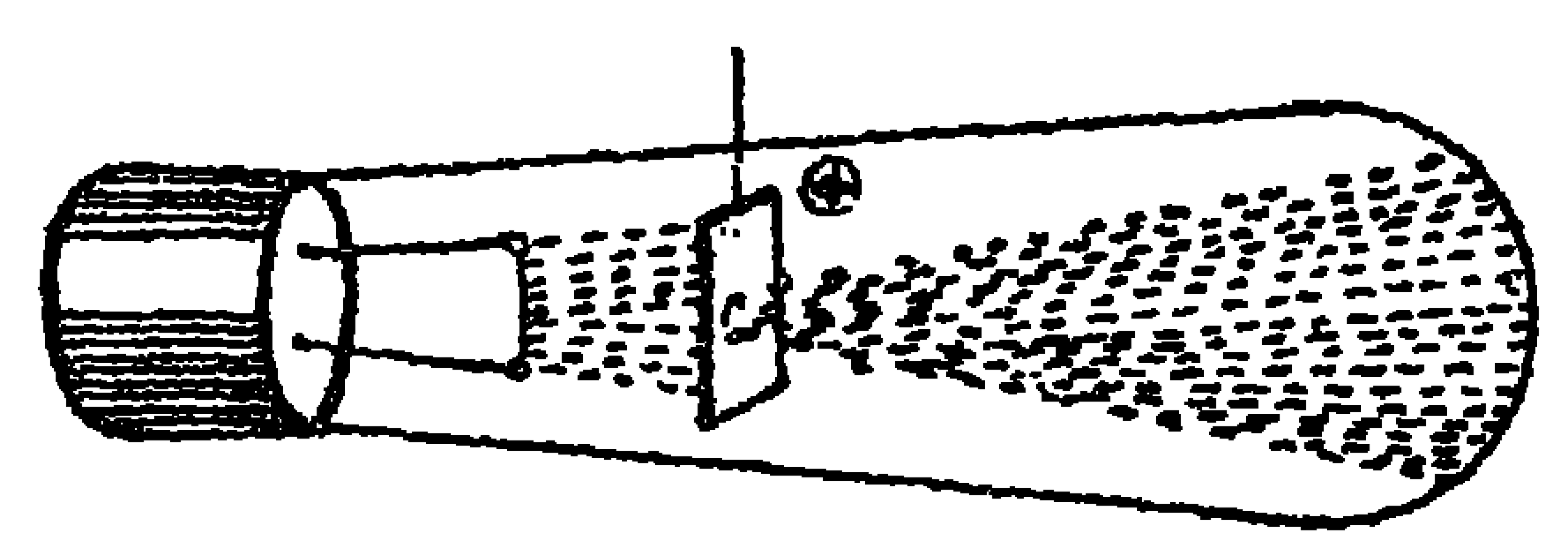
الشكل (١٥)
اذا وضعت لوحة ذات جهد موجب داخـل الانبوبة المفرغة تنجذب الالكترونات اليها من الفتيلة على شكل شعاع.

ويطلق اسم المصعد Anode على اللوح الموجب بينما يطلق اسم « المهبط » Cathode على الفتيلة التي تنبعث منها الالكترونات بطريق غير مباشر .

والشكل (١٦) يوضح الخطوة الاولى التي اتخذت لترويض الالكترون ليؤدي لنا ما نريده منه في انبوبة شعاع المهبط . ففي الشكل نجد ان خرقا صغيراً قد أحدث في مركز المصعد ومن هذا الخرق تندفع كمية من الالكترونات السريعة المنجذبة الى المصعد وتكمل هذه الالكترونات رحلتها حتى تصطدم بالوجه الداخلي للانبوبة .

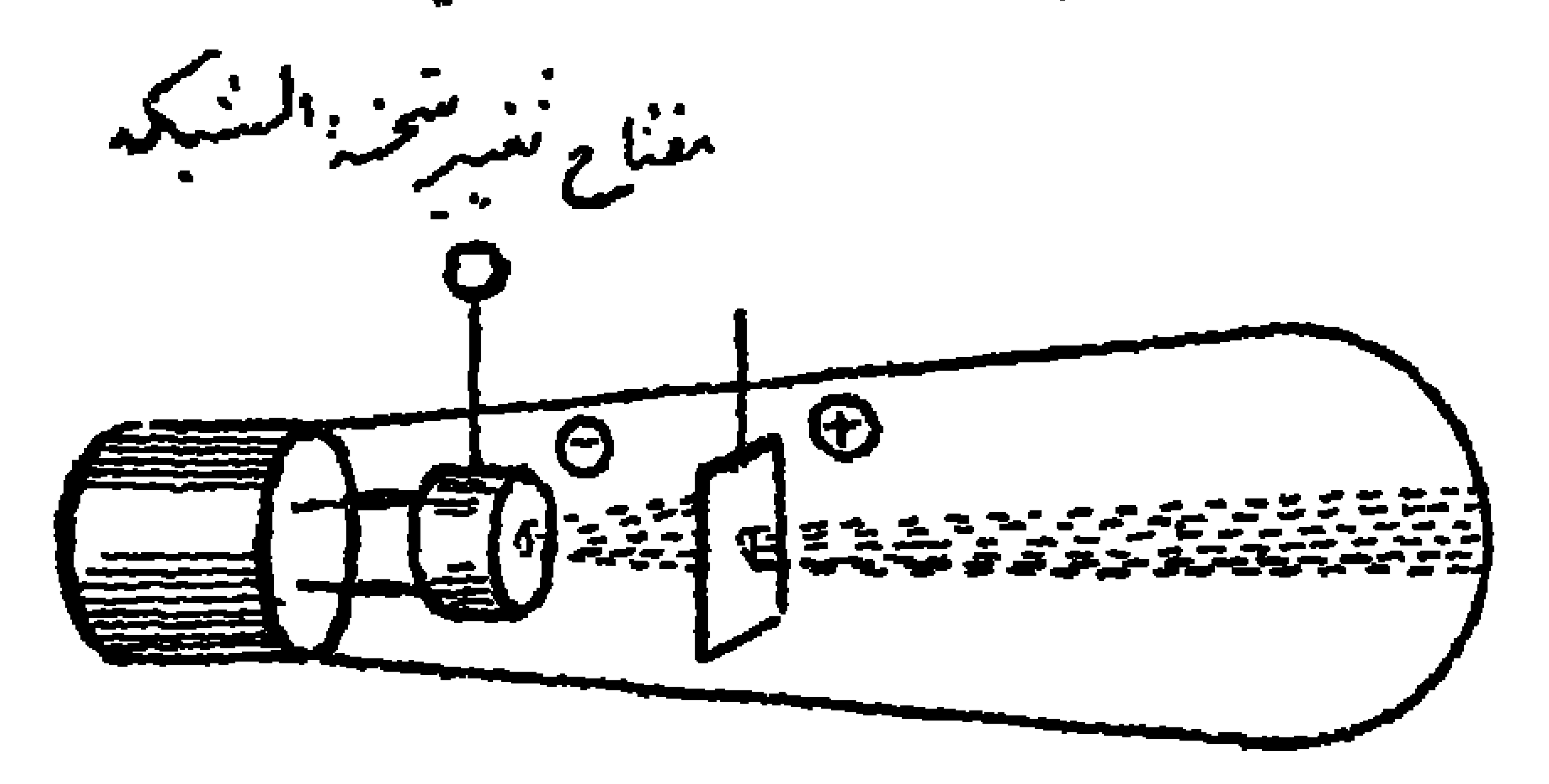
وكأن هذه الالكترونات قد كونت شبه شعاع منها يخترق الانبوبة طوليا من اولها الى آخرها . ونظراً لكونها تنبعث من المهبط فقد سميت شعاع المهبط ، ولكن هذا الشعاع متفرق نظراً لانتشار الالكترونات على وجه الانبوبة كله . هذا وان مرور كمية صغيرة فقط من مجموع

الالكترونات التي تندفع الى المصعد خلال الثقب الموجود فيه تجعل الجهاز غير ملائم لأغراضنا ولذلك اتجه التفكير الى ايجاد وسيلة لتكثيف الشعاع وذلك باجبار عدد أكبر من الالكترونات على المرور خلال الثقب .



الشكل (١٦)

اذا عمل ثقب صغير في اللوحة الموجبة تندفع بعض الالكترونات خلال هذا الثقب وتصل الى الوجه الداخلي للانبوبة .



الشكل (١٧)

اذا احيطت الفتيلة بشبكة على شكل اسطوانة معدنية مغلقة من احدى نهايتيها وفيها ثقب صغير . فانه يمكن بتغيير الشحنة السالبة التي نضعها على هذه الشبكة بواسطة مفتاح صغير التحكم في الالكترونات المندفعة من الفتيلة خلالها

وفي الشكل (١٧) نجد ان خطوة جديدة قد اتخذت لتحسين الانبوبة فأحيط المهبط باسطوانة معدنية مقفولة عدا فتحة صغيرة في سطحها العلوي وسميت هذه « الشبكة » Grid ، ووضعنا على هذه الشبكة شحنة كهربائية سالبة كما عمل تجهيز خاص يستطاع بواسطته تغيير قيمة هذه الشحنة بتقليلها او تكبيرها وذلك بواسطة مفتاح صغير ، فاذا انبعثت

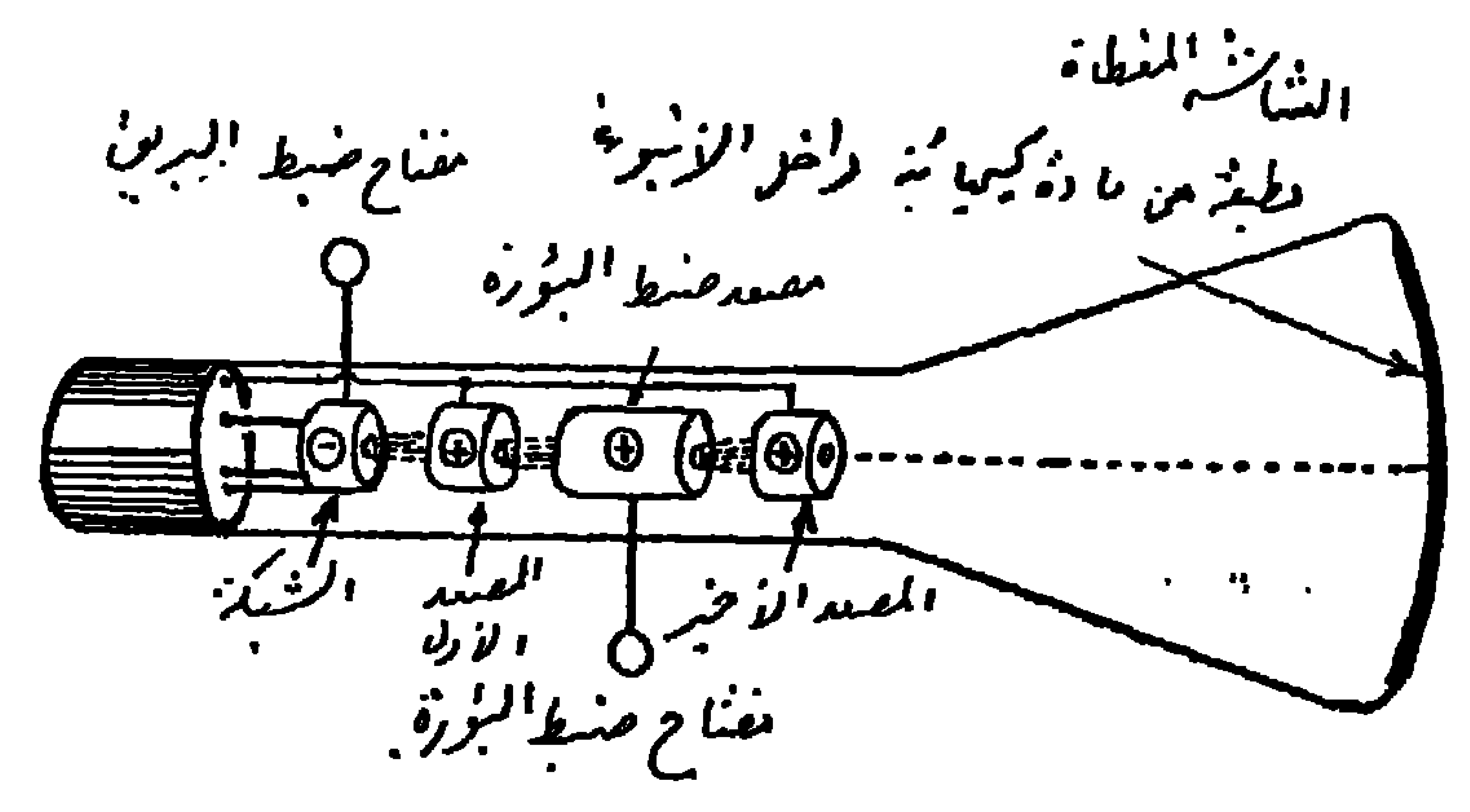
الالكترونات من المهبط تنافرت مع جدران الاسطوانة التى تمثل الشبكة وتركزت فى الجزء الاوسط منها ثم اندفعت خلال الثقب الى المصعد متأثرة بشحنته الموجبة . والفائدة التى جنيت من هذا التعديل هي تركيز الشعاع والسماح لعدد اكبر من الالكترونات بالمرور خلال الثقب الموجود بالمصعد ، فاذا ادير المفتاح المتحكم في الشحنة السالبة الموجودة على الشبكة لتكبير هذه الشحنة الى درجة كبيرة ، ينعدم تأثير المصعد في جذب الالكترونات اليه ، وكلما أدير المفتاح لتخفيض هذه الشحنة كلما ازداد تأثير المصعد في جذب الالكترونات اليه اكثر واكثر وبالتالى تزداد كثافة شعاع المهبط اكثر واكثر . من هذا يستنتج ان عمل الشبكة ومفتاحها إن هو الا تنظيم سريان الالكترونات من المهبط الى المصعد ثم خلاله الى نهاية الانبوبة .

ولكن رغما عن هذه التحسينات نجد ان شعاع الالكترونات الذي يصل الى نهاية الانبوبة ما زال عريضا ومنتشراً وليس متجمعا . ولكى نستطيع الافادة منه يجب ايجاد وسيلة لتجميعه على نقطة ما كما يحدث تماما حين تُضبط بؤرة العدسة لتجميع اشعة الشمس على نقطة ما .

ولذلك يستعاض عن المصعد المسطح بثلاثة مصاعد اسطوانية الشكل تعمل مجتمعة ، ولا اظن ان في مثل هذا الكتاب المبسط مجالا لشرح الكيفية التي تعمل بها هذه المصاعد الثلاثة لتجميع الاشعة وضبط بؤرتها على نقطة ما إذ أن مثل هذا الشرح التفصيلي يبعدنا عن السياسة التي رسمناها باديء بدء والتي تقول بعدم ضرورة الخوض في التفصيلات الفنية جدا

وكل ما يمكن ان يقال هو ان هذه المصاعـد الثلاثة مجتمعة تعمل كعدسة بواسطتها يمكن جعل الشعاع عريضا او ضيقا كما يمكن تجميعه على بقعة صغيرة في نهاية الانبوبة وذلك بتغيير الشحنة الموجبة على المصعد الاوسط الذي نسميه مصعد ضبط البؤرة Focusing Anode وذلك بواسطة مفتاح صغير .

ومنذ الآن سيأتي ذكر الاصطلاح « الجهد الكهربائي » ولذلك يستحسن ان نعرّفه : فهو شدة تركيز الشحنة الكهربائية الموجودة على جسم ما ، وتسري الكهرباء من الجسم ذي الجهد الاعلى الى الجسم ذي الجهد الادنى كما تسري المياه من خزان مرتفع الى آخر منخفض . ويقاس الجهد



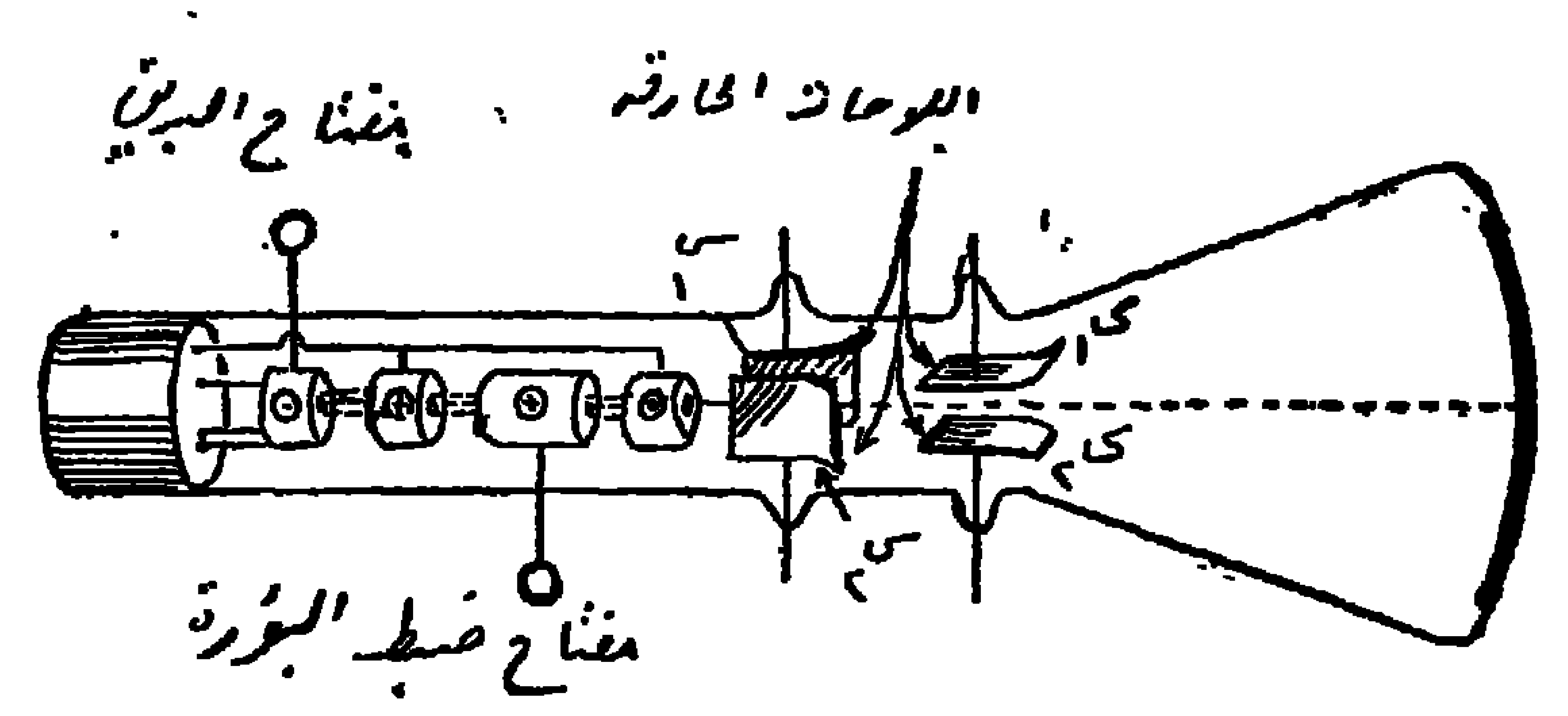
الشكل (١٨) في هذا الشكل استبدل المصعد الواحد بثلاثة مصاعد اسطوانية الشكل. وبواسطة مفتاح ضبط البؤرة يمكن تجميع شعاع الالكترونات في شعاع ضيق جدا. وتتوهج الشاشة المغطاة بطبقة من مادة كيميائية خاصة تحت تأثير اصطدام الالكترونات بها فتنتج بقعة صغيرة مضيئة

الكهربائي بالفولت وهو وحدة قياس الضغط الكهربائي وسميت كذلك نسبة الى العالم الايطالى فولتا . ولقد ذكرنا قبل ذلك ان الجهد الموجب

الموضوع على المصعد الاوسط قابل للتغيير بواسطة مفتاح ضبط البؤرة في حين ان الجهد الموجب الموضوع على المصعد الاول والمصعد الاخير ثابت لا يتغير .

وشعاع الالكترونات أو شعاع المهبط غير منظور ولكن هنالك طريقة تمكننا من جعله ينتج شيئاً تراه العين وذلك بان يغطى وجه الانبوبة من الداخل بطبقة من مادة تتوهج اذا ما اصطدمت بها الالكترونات السريعة ويسمى هذا التوهج flourescing كما تسمى نهاية الانبوبة المغطاة بهذه الطبقة الشاشة flourescent Screen . والآن يحسن ان نلخص ماسبق لنرى ان كنا قد خرجنا بنتيجة : لقد امكن انتاج شعاع من الالكترونات التي تصطدم بنهاية الانبوبة او بوجهها الداخلي فينشأ من ذلك وهج . كما امكن ضبط بؤرة الشعاع وتجميعه في بقعة صغيرة تظهر على وجه الانبوبة كنقطة واحدة مضيئة يمكننا ان نتحكم في مدى بريقها : اذ كلما زادت كثافة شعاع الالكترونات ازدادت هذه البقعة توهجا وبريقا ويتأتى لنا ذلك بتحريك المفتاح الذي يتحكم في الجهد السالب الموضوع على الشبكة ولذلك يسمى هذا المفتاح مفتاح ضبط البريق او التوهج . اي ان ما حصلنا عليه حتى الآن هو بقعة مضيئة ثابتة في مركز وجه الانبوبة في الامكان رؤيتها من الخارج، كما أمكن التحكم فى مقدار بريقها كما انه يمكننا ان نضبط البؤرة كلما اردنا ذلك . والمطلوب الآن هو جعل هذه البقعة تتحرك على وجة الانبوبة الى أي نقطة نريدها ان تذهب اليها ولقد اثبتت الالكترونات حتى الان انها خادم مطيع قابل للترويض

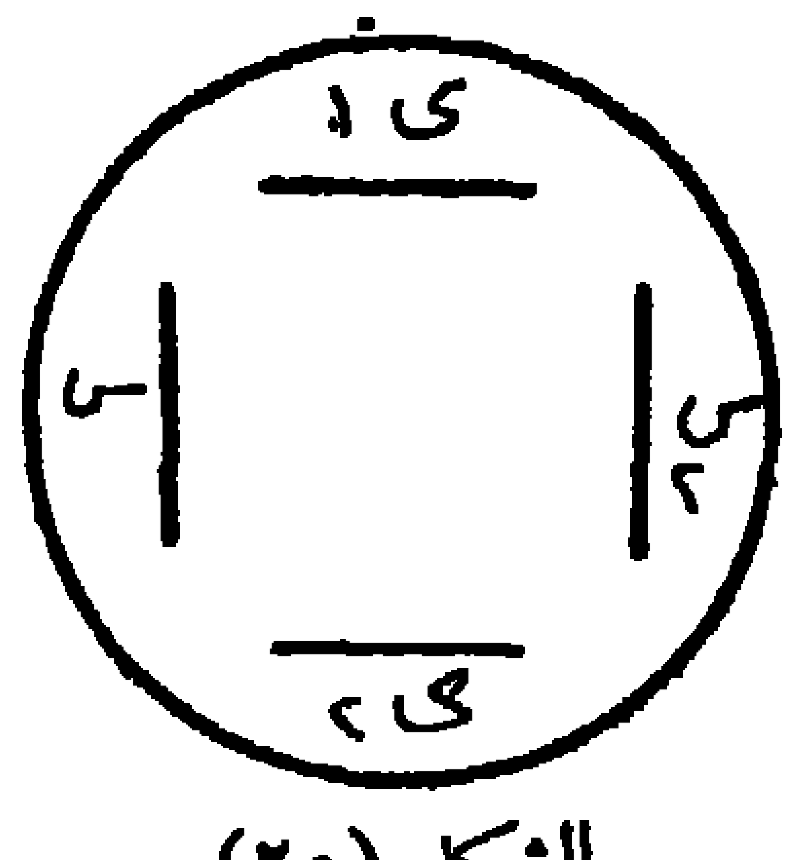
ولا اظنها ترفض ان نتحكم فيها خطوة ابعد أو حتى خطوات. فالشكل (١٩) يبين انبوبة شعاع مهبط كاملة بصورة مبسطة وهو يختلف عن الشكل (١٨) في ان الانبوبة فيه قد اضيف اليها زوجان من اللوحات الحارفة Deflecting Plates احدهما رأسي والاخر افقي وكل زوج من الالواح متواز وتسمى اللوحتان الرأسيتان اللوحات س واللوحتان الافقيتان اللوحات ي. فيمر شعاع الالكترونات اولا بين اللوحتين س ثم ثانيا بين اللوحتين ي.



الشكل (١٩) في هذا الشكل رسمت اللوحات الحارفة المذكورة في الشرح وبواسطتها يمكن تحريك البقعة المضيئة الى أي موضع على الشاشة.

والشكل (٢٠) يبين وضع هذه اللوحات الاربع بفرض امكان رؤيتها من وجه الانبوبة خلال الطبقة المكسو بها هذا الوجه من الداخل.

فاذا فرضنا ان جهداً موجباً قد وضع على اللوحة س ١ فما الذي يحدث للبقعة المضيئة ؟ يتكون شعاع الالكترونات من جسيمات



الشكل (٢٠)
اللوحات الحارفة كما تبدو من وجه الانبوبة لو كانت الشاشة شفافه.

سالبة الشحنة واللوحة س ١ في هذه الحالة موجبة الجهد فالنتيجة هى انجذاب شعاع المهبط الى اليسار ناحية اللوحة س ١ وبالتالي تتحرك البقعة المضيئة الى اليسار على وجه الانبوبة أو على الشاشة . ويمكن الحصول على نفس النتيجة بوضع جهد سالب على اللوحة س٢ فتتنافر معها الالكترونات وتتحرك البقعة المضيئة الى اليسار كذلك . وبنفس الطريقة يمكن جعل البقعة تتحرك لجهة اليمين اما بجعل اللوحة س١ سالبة او اللوحة س٢ موجبة. ويتوقف البعد الذي تقطعه البقعة في حركتها لجهة اليمين او لجهة اليسار على مقدار الجهد الموضوع على اللوحتين س١ وس٢ . اذا كلما زاد الجهد الموجب على اللوحة س ١ او السالب على اللوحة س ٢ كلما ازدادت البقعة المضيئة اقترابا من الجانب الايسر لوجه الانبوبة . وتتحكم اللوحتان ي ١ وي ٢ في الحركة الرأسية (لأعلى ولأسفل) للبقعة المضيئة كما تتحكم اللوحتان س ١ وس ٢ في الحركة الافقية لهذه البقعة . فبجعل ي ١ موجبة او ي ٢ سالبة يمكن رفع البقعة لاعلى والعكس بالعكس.

وبالطبع تبقى البقعة المضيئة ثابتة في مكانها في مركز وجه الانبوبة طالما انه ليست هناك شحنات على اللوحات الاربع اواذا كانت هذه اللوحات تحمل شحنات متساوية من نوع واحد . ففي هذه الحالة يتساوى مقدار الجذب الذي تفرضه كلتا اللوحتين الافقيتين على البقعة . وما يقال عن اللوحتين الافقيتين يقال مثله عن اللوحتين الرأسيتين . من هذا يتضح انه اصبح في امكاننا ان نتحكم في حركة البقعة المضيئة على الشاشة بحيث نستطيع توصيلها الى اية نقطة نريدها ان تصل اليها كما أصبح في إمكاننا

ان نجعلها تدور على الشاشة وذلك بوضع شحنات مناسبة على كل من اللوحات الاربع . وهذه البقعة المضيئة التي تتحرك على وجه الانبوبة بسرعة خيالية والتي في استطاعتنا ان نتحكم في مدى توهجها هي التي تجعل في امكاننا مشاهدة الصور المختلفة على شاشة التليفزيون .

وهذه البقعة المضيئة تتحرك على وجه الانبوبة بنفس السرعة الجبارة التي تتحرك بها الالكترونات داخل انبوبة مفرغة . وفي امكانها ان تقف وتعكس اتجاهها وتبدأ الحركة ثانيا ، كل ذلك بسرعة لا يكاد يعقلها الانسان . وأورد هنا مثلا قد يكون فيه الكفاية للدلالة على سحر هذه البقعة المضيئة. فان ظهور صورة مقاس ١٠ × ٨ على لوحة التلفزيون يستدعى ان تقطع البقعة المضيئة ٤٠٥ الف بوصة في الثانية اي حوالى ٢٣ الف ميل في الساعة ، اي ان برنامجا للتلفزيون يستغرق عرضه ساعة واحدة يستدعى ان تتحرك هذه البقعة مسافة مساوية لتلك التي نقطعها في رحلة حول العالم وان تغير اتجاهاتها حوالى ٤٠ الف مرة في الثانية . وفي الفصل الرابع رأينا كيف انه ليس هناك جهاز ميكانيكي يستطيع توقيت الاصداء اللاسلكية في جهاز الرادار . ولكن استغلال الالكترون اعطانا السلاح الذي نحارب به الوقت اذ اصبح في الامكان استحداث السرعات الهائلة التي نريدها وان نحرك البقعة المضيئة كيفما نشاء ونجعلها تعكس اتجاهها وتبدأ حركتها من جديد آلاف المرات في الثانية الواحدة دون ان نخشى الاستهلاك او الحرارة المتولدة من جهاز ميكانيكي بسبب الاحتكاك . (تخيل قطعة معدنية متحركة بسرعة ٢٥٠ الف ميل في الساعة أي عشرة اضعاف سرعة طلقة

البندقية وهي تسري في الهواء، ثم اوقفت هذه القطعة مرة واحدة . الذي يحدث لطلقة البندقية هو انها تتحطم حين ترتطم بدرع حديدي او اي شيء من هذا القبيل . اذن فلا شك في ان القطعة المعدنية سوف تتحطم الف مرة ولن يكون عندها وقت بعد ذلك لكى تعكس اتجاهها كي تبدأ في الحركة مرة ثانية في الاتجاه المضاد) ولكن شعاع الالكترونات الذي يسبب البقعة المضيئة حين يصطدم بوجه الانبوبة ينتج لنا ماتريد دون ان نخشى اي حادث او نفكر في اي عامل من العوامل

فاذا افترضنا ان البقعة المضيئة ثابتة في مركز الشاشة وبدأنا في وضع جهد موجب سريع التزايد على اللوحة س ٢ ، ترى ما الذي يحدث ؟ كلما زاد الجهد الموجب على اللوحة س ٢ كلما اندفعت البقعة المضيئة لجهة اليمين على وجه الانبوبة . فاذا انخفض هذا الجهد فجأة الى الصفر (وحين اقول فجأة لا أعني ان هذا الجهد قد انخفض مثلا من الف فولت الى صفر فولت في لاشيء من الوقت بل ان هذا التخفيض في الجهد يستغرق وقتاً ولو انه ضئيل قد يبلغ جزءاً على مليون من الثانية ، الا اننا في ابحاثنا في الرادار نحسب حسابا تاما لمثل هذه الكسرة الزمنية) اي افقدنا اللوحة س ٢ قدرتها على جذب البقعة المضيئة فجأة ، تصبح البقعة المضيئة بعيدة عن أي تأثير جارف وترتد بسرعة الوميض الى وضعها الاوسط لتثبت في مركز وجه الانبوبة .

ولا يصحب هذا الارتداد السريع اية صدمة او حرارة او اي

ظاهرة اخرى من اي نوع بل تكون البقعة مستعدة مرة ثانية لكي تتحرك في اى اتجاه نريده لها .

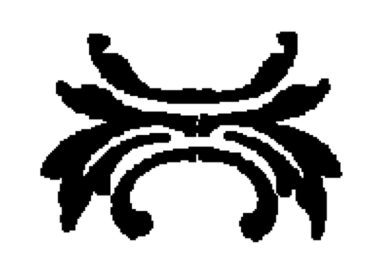
وليست هناك صعوبة من وجهة النظر الكهربائية تعترض وضع جهد موجب سريع التزايد على اللوحة س ٢ وجعل هذا التزايد مستمراً لفترة محدودة من الوقت قد تكون في منتهى القصر ثم تخفيضه فجأة بالمعنى الذي شرح الى صفر فولت. اي انه في استطاعتنا جعل البقعة المضيئة تتحرك الى اليمين على الشاشة لفترة زمنية محددة تحديداً قاطعاً ثم تطير بسرعة الى مركز الانبوبة مرة ثانية مستعدة للتحرك الى جهة اليمين في الحال وهكذا . ونظراً لان البعد الذي تتحركه البقعة المضيئة لجهة اليمين يتوقف على مقدار جهد اللوحة س ٢ الموجب ، اذن يمكننا ان نجعل هذه الحركة ذات سرعة منتظمة (لا هي بالمتزايدة ولا هي بالمتناقصة) كما انه يمكننا جعل هذه البقعة تتحرك الى اليمين ثم تعود الى المركز ثم تتحرك الى اليمين وهكذا بمعدل ثابت محدود وبفواصل زمنية معينة في حدود المعقول ووفق ارادتنا.

ويساعد في وضع الجهد الموجب المتزايد على اللوحة س٢ جهاز كهربائي صغير يسمى « المكثف » وباستخدامه يمكن جعل جهد اللوحة س ٢ يبدأ من لاشيء ويتزايد حتى يصل الى حد معين نحدده كيفما نشاء على ان يتم ذلك في وقت معين تبعا لاختيارنا .

وللمكثف استخدامات عديدة مبنية كلها على انه حينما يبدأ في الشحن يرتفع جهد لوحيه من صفر فولت الى حد خاص يتوقف على مايسمى

«سعة المكثف» فاذا وُصِّل أحد هذين اللوحين (اللوح ذي الجهد الموجب) باللوحة س ٢ وبدىء في شحنه بطريقة ما لتزايد الجهد الموجب على اللوحة س ٢ كلما تزايد الجهد الموجب على لوح المكثف .

وفي انجلترا وامريكا يستخدم المكثف في تنظيم حركة المرور بطريقة غير مباشرة . فحين تصل السيارة الى قرب تقاطع طرق ينظم المرور فيها بواسطة الانوار الاوتوماتيكية ، تمر السيارة فوق لوحة تنضغط تحت ثقلها وتسمح لمكثف بالبدء في الشحن اي البدء في اكتساب جهد متزايد على لوحين احدهما موجب والآخر سالب . وحين يصل الجهد الى حد معلوم يُشَغِّل مفاتيح كهربائية تقوم بدورها بتشغيل الانوار الاوتوماتيكية التي تفتح الطريق للسيارة وتقفله في الاتجاهات الاخرى وبذلك يرى السائق الاشارة الخضراء بعد مدة معلومة من اقترابه من تقاطع الطرق لان الوقت الذي يستغرقه المكثف فى الشحن معلوم . وحالما تعبر السيارة الطريق يزول الضغط من على اللوحة ويفرغ المكثف شحنته فينخفض جهد ألواحِه الى الصفر وتعود الاضواء الى حالتها الاولى .



الفصل السابع

قياس الميكروثانية

النقيضان : مما ذكر قبل الآن عرفنا انه لكي نحصل على مسافات دقيقة من الرادار يجب ان يكون في مقدورنا قياس الوقت الذي تستغرقه رحلة الموجات اللاسلكية الى الهدف ثم يستغرقه الصدى المنعكس في العودة من هذا الهدف الى مستقبل الرادار . كما عرفنا ان ذلك الوقت قد يصل الى جزء على مليون من الثانية . ولكن استخدام التعبير واحد على مليون من الثانية ممل ومطول ولذلك سوف نستخدم من الآن فصاعداً الاصطلاح « ميكروثانية » للدلالة على واحد على مليون من الثانية . ومن الكلام عن الميكروثانية ننتقل الآن الى الكلام عن النقيض وهو المليون ، فالموجات اللاسلكية والموجات الضوئية تسري بسرعة ٣٠٠ مليون متر في الثانية ، كما تفقد ملايين الذرات او يضاف اليها الكترونا كل ثانية اثناء استعمال البطاريات الكهربائية . وقد يكون من الانسب قبل ان نخطو خطوة في الشرح ان نجد طريقة تبين لنا بالامثلة ضخامة المليون وضآلة الميكرو لنرى التناقض الواضح بين الاثنين . فمن الصعب ان يكوّن العقل البشري صورة في المخيلة لحشد من الرجال او الاشياء يزيد في تكوينه عن الالف . والمليون كما نعرف هو الف الف . فاذا تصورنا كيف يبدو حشد

مكون من الف رجل يكوّنون كتيبة من المشاة تسير في استعراض امام منصــة وكنا نرقبها من فوق هذه المنصة لأدركنا كم يكون مستحيلا ان نتصور الف كتيبة من هذا النوع تسير في استعراض . كذلك هل تعتقد انك تستطيع ان تتنبأ بالوقت الذي تشغله مليون ثانية تبدأ من قراءتك لهذه السطور، أو تتنبأ بالذي كان يحدث منذ مليون دقيقة أو مليون يوم ؟ حاول ان تجد الجواب بنفسك عن هذه الاسئلة ، فاذا لم تستطع فهاك الجواب : المليون ثانية يساوي احد عشر يوما ونصف تقريبا والمليون دقيقة يساوي حوالي العامين اما المليون ساعة فانها ترجع الى وقت لم يكن اسماعيل باشا خديوي مصر الاسبق قد ولد فيه ولا اظن اذن ان هناك داعياً للتفكير في المليون يوم .

أي ان الموجات اللاسلـكية حين تقطع ٣٠٠ مليون متر في الثانيــة تستطيع ان تقوم بحوالي السبع أو الثماني رحلات حول الارض قبل ان يتم بندول الساعة ارجحة واحدة . وهناك ظاهرة مسلية لابد وقد فاتتك ايها القارىء وأنت تصغي الى الاذاعات الخارجية على الموجة القصيرة : فانك اذا استمعت الى محطة الاذاعة البريطانية لما وراء البحار على الموجة التي طولها ١٣ متراً لسمعت ترديداً لـكل حرف ينطقه المذيع بعد نطقه مباشرة . والسبب في ذلك هو ان هوائي جهاز الاستقبال يلتقط الموجات اللاسلـكية حال صدورها مباشرة من محطة الاذاعة ثم يلتقطها مرة اخرى حالما تتم دورة حول الارض وفي بعض الاحيان يلتقطها مرة اخرى بعد أن تتم دورتين وثلاثا مما يجعل الصوت يتردد مرتين وثلاثا بعد نطقه .

ولكن هل من السهل بعد ان تصورنا ضخامة المليون ان نتخيل ضآلة الميكروثانية ؟ من الجائز ان يوضح لنا المثال الآتي ما نريد : قطار سريع يسير بسرعة ٦٠ ميلا في الساعة . هذا القطار يقطع في واحد ميكروثانية مسافة مساوية لسمك ورقة عادية . ويقطع بوصة واحدة بعد مضي ٩٤٧ ميكروثانية . الا انه باستخدام انبوبة شعاع المهبط كعداد للثواني اصبح في امكاننا كما سنرى بعد قليل ان نقيس هذه الكسرة الزمنية الضئيلة بمنتهى السهولة ومنتهى الدقة ولكن هل هناك سبب يدعونا الى ان نقيس هذه الكسرات الزمنية بمثل هذه الدقة ؟ في الواقع أن هذا السبب موجود. فان رجال المدفعية ورجال سلاح الطيران يحتاجون الى انذار مبكر عن ظهور الأهداف المعادية حين تكون على مسافات بعيدة جداً . فاذا ما اقتربت هذه الاهداف ودخلت في المدى المؤثر للمدفعية وللطائرات المقاتلة طالبت هذه الاسلحة بمسافات الاهداف مقاسة بالياردات . ولكي يكون الدفاع ناجحا يجب ان تكون هذه المسافات القريبة دقيقة الى ابعد حد . كما ان اجهزة الرادار الحديثة جداً والتي تستخدم في معاونة الملاحة تقيس المسافات بكل ما يمكن من الدقة .

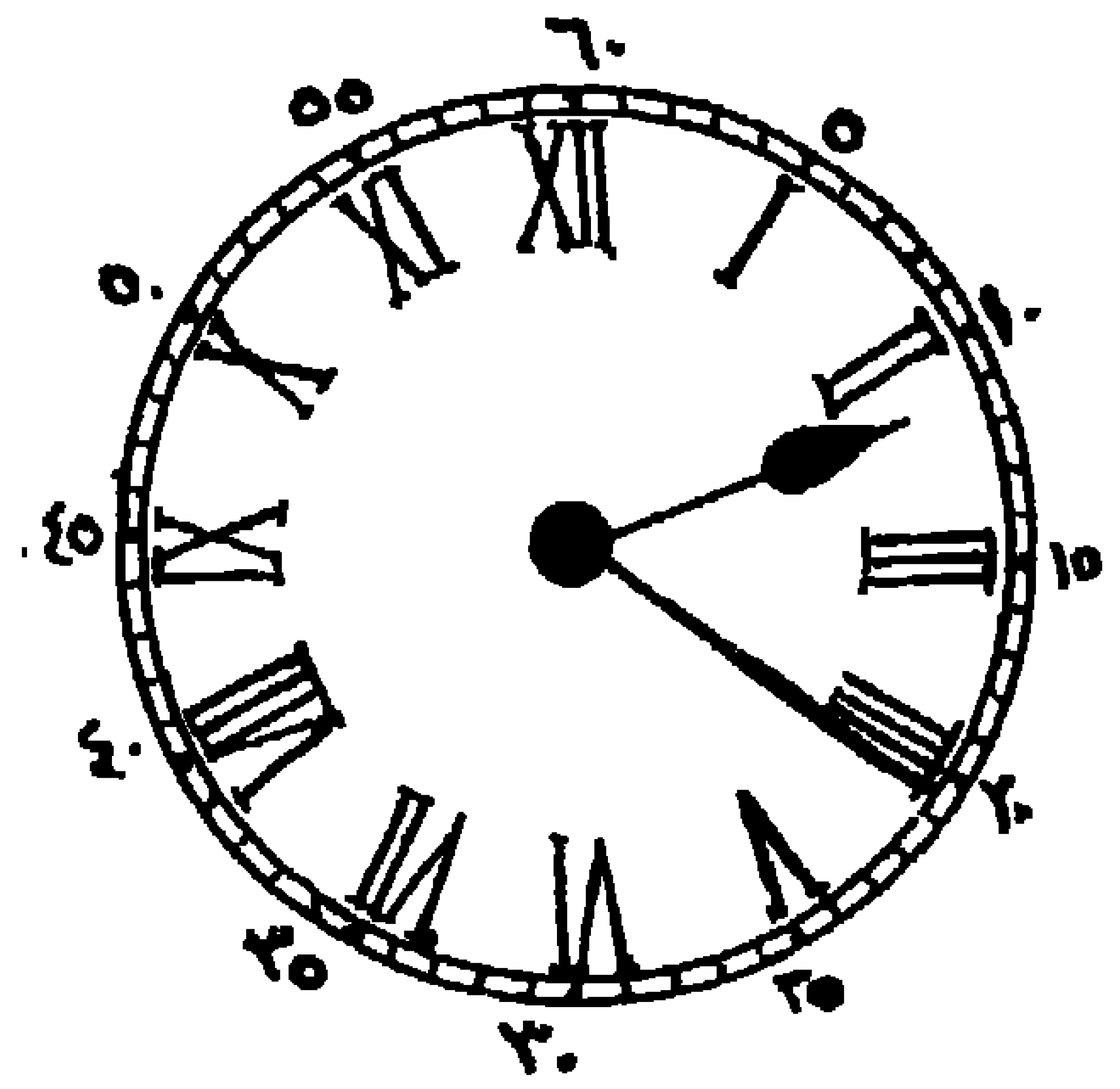
وتخرج الموجات اللاسلكية من مرسل الرادار متجهة الى الهدف فتصطدم به ثم تنعكس راجعة الى مستقبل الرادار كصدى لاسلكى. وسبق أن عرفنا ان سرعة هذه الموجات حوالي ١٨٦ الف ميل في الثانية والتقدير الدقيق لهذه السرعة ٣٢٧٧٢٠٠٠٠ ياردة في الثانية .فاذا كانت مسافة الهدف ميلا واحداً فمعنى ذلك ان الموجات اللاسلكية تقطع ميلين ذهابا وايابا من

المرسل الى الهدف الى المستقبل في زمن قدره ٧ر١٠ ميكروثانية . فاذا كانت مسافة الهدف الفعلية ميلين أصبح الزمن ٤ر٢١ ميكروثانية و٢٠ ميلا يكون الزمن ٢١٤ ميكروثانية وهكذا : اي ان كل ميل في المسافة يقابله انقضاء ٧ر١٠ ميكروثانية ما بين خروج الموجات من المرسل ووصولها الى الهدف وانعكاسها منه واستقبالها في المستقبل . وليس مطلوبا من جهاز الرادار الذي يستخدم في اعطاء الانذار المبكر عن اقتراب طائرات معادية ان يقيس مسافات هذه الطائرات بدقة كبيرة . إذ يكفي ان ينذرنا بوجود هدف على مسافة ٧٥ ميلا مثلا اذا كان الزمن الذي استغرقته الموجات في رحلتها الى الهدف وعودتها منه حوالي ٨٠٠ ميكروثانية كما قاسه الجهاز . ووجود فرق يعادل بضع ميكروثواني زيادة او نقص لا يؤثر كثيراً في الدقة المطلوبة من مثل هذا الجهاز . ولكن الدقة تهمنا جداً اذا ما كان الجهاز يعمل في معاونة الملاحة او مع المدفعية المضادة للطائرات او مدفعية السواحل او قصائل الطوربيد حين اشتباكها مع هدف ، فهذه العمليات تحتاج لنجاحها الى مسافات دقيقة مقدرة بالياردات لا بالاميال مع تجنب اقل خطأ قدر المستطاع. فالوقت الذي تقطع فيه الموجات مسافة الف ياردة ذهابا وايابا هو ١ر٦ ميكروثانية. اي ان كل الف ياردة مسافة فعلية لهدف ما تقابل ١ر٦ ميكروثانية . ولكن تعيين محل هدف بالدقة الكافية اللازمة لاصابته بدانات المدفعية المضادة للطائرات أو بالطوربيد يحتاج الى تقدير مسافة هذا الهدف لأقرب ٢٥ ياردة اذا امكن وليس لأقرب الف ياردة . فاذا كانت الف ياردة تقابل ١ر٦ مكروثانية فالمائة ياردة تقابل

٦١ر٠ ميكروثانية او ٦١ على مائة مليون من الثانية . ومع ذلك فمائة ياردة ليست هي التقريب الدقيق المطلوب للمسافة وسنرى الآن كيف تتمكن أنبوبة شعاع المهبط من الاتيان بالعجب العجاب دون احتمال حدوث أي خطأ أو خلل في جهاز الرادار رغم وجوده في أتون المعركة ورغم ان الذين يعملون عليه هم رجال عاديون من جنودنا وليسوا علماء او من ذوي الثقافات العالية .

قياس الميكروثانية : جرت العادة على ان الاشياء التي تقع دائماً في متناول ايدينا والتي نستعملها يوميا بل كل لحظة هي ابعد الاشياء عن ان نعيرها قسطا وافيا من تفكيرنا وتأملنا.

والساعة التي تدلنا على الوقت تقع ضمن هذه الاشياء التي اشير اليها . ولذلك فقلما يفكر الانسان في هذه الساعة بل يكتفي بالقاء نظرة على العقارب ليعرف الوقت من موضعيهما بالنسبة لبعضهما على وجه الساعة دون حاجة الى كثير من التأمل . ولكن هل هناك فعلاً



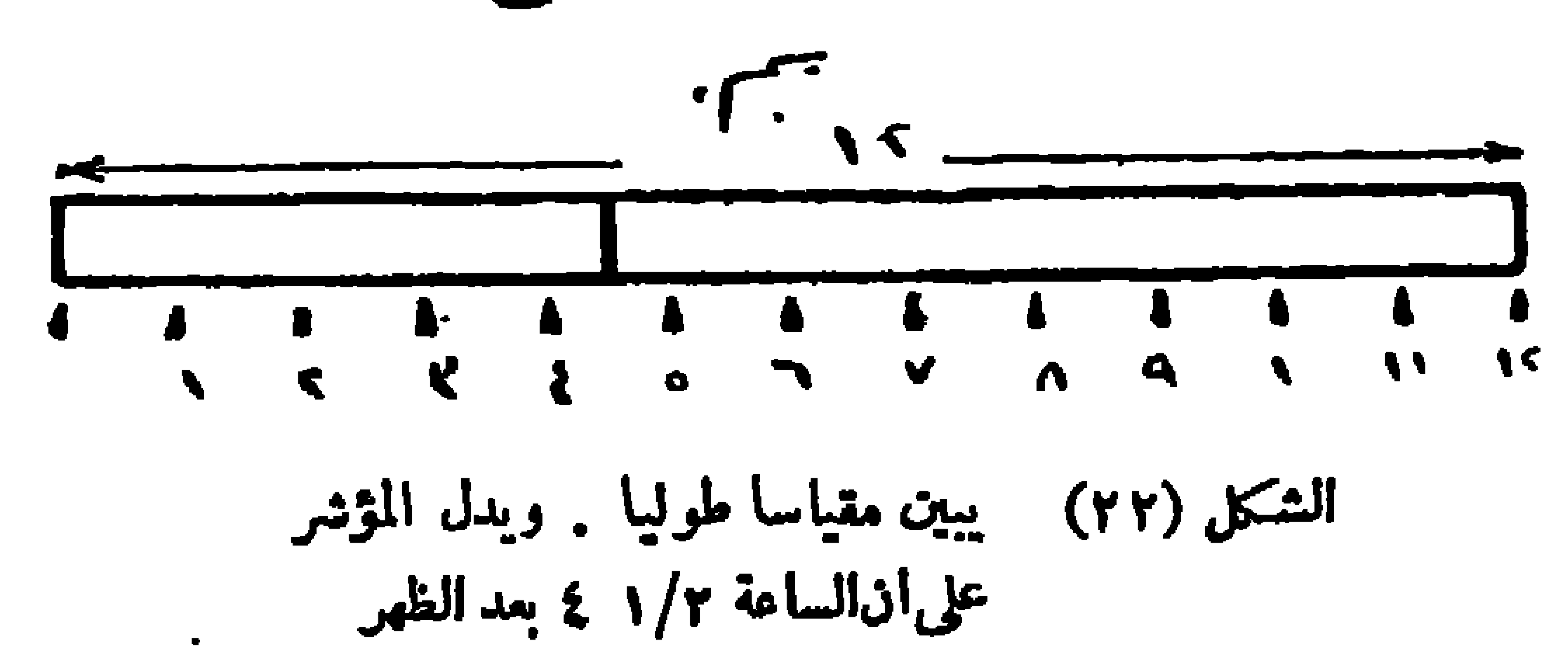
الشكل (٢١) وجه الساعة العادية عبارة عن مقياسين زمنيين في واحد .

في وجه الساعة شيء يدعو الى التأمل ؟ فلنر ما يحويه هذا الوجه : ان ما فيه هو عقربان يتحركان حول مقياس قد درج الى ساعات ودقائق لكي نتمكن بواسطته ان نعرف الوقت ولكن هل هذا هو حقيقة كل ما هنالك ؟ كلا فالواقع ان هناك شيئاً آخر . فلو اننا فكرنا فيما يحدث على

وجه الساعة لوصلنا الى نتيجة تساعدنا كثيراً في تفهم الطريقة التي تستخدم بها الالـكترونات لقياس الجزء على مليون من الثانية في الرادار . (بمناسبة الـكلام عن الساعة حاول ان ترسم وجه ساعة على قطعة من الورق دون ان تسترشد بساعتك ، فانك سوف تجد انه من المحتمل ان تقع في اكثر من خطأ واحد اثناء هذه العملية مما يدلك على قلة التفكير الذي تثيره الاشياء التي اعتدنا رؤيتها دائما على عقولنا) . فوجه الساعة يحتوي على مقياسين زمنيين في مقياس واحد ولـكل مقياس المؤشر الخاص به ممثلان في عقرب الساعات وعقرب الدقائق، ويدور عقرب الساعات دورة كاملة حول مقياس الساعات كل اثنتي عشرة ساعة ومقياس الساعات هذا مقسم الى اثنى عشر قسماً متساوياً وعلى كل قسم رقم مكتوب بالاعداد الرومانية .

اما مقياس الدقائق وهو المقياس الذي يدور عليه عقرب الدقائق فانه مقسم الى ٦٠ قسما متساوياً ، وكل قسم يقابل دقيقة واحدة وهذه الاقسام تكون عادة غير مرقومة اذ لا داعي لذلك ، فمن نظرة واحدة الى الساعة يمكن معرفة الوقت بعد التعود دون حاجة الى ارقام . وفي الساعات الحديثة ازيلت الأرقام الدالة على الساعات اكتفاء بعلامات سوداء متشابهة . ومما يأتي سنرى كيف تؤدي الساعة عملها : حين يكون العقرب الصغير أو عقرب الساعات عموديا لأعلى فمعنى ذلك ان الساعة ١٢ فاذا دار ربع دورة اصبحت الساعة ٣ ، ونصف دورة اصبحت الساعة ٦ ، و ٣/٤ دورة فالساعة ٩ ثم دورة كاملة تعود ثانياً الى الساعة ١٢ . وفي هذه اللحظة لايتوقف العقرب عن العمل بل يستمر في نفس الاتجاه بادئاً دورة جديدة

وهكذا نظراً لاستدارة القرص، كما انه من السهل ان تكون الحركة مستمرة فالعقرب حين يدل على الساعة ١٢ انما يدل في نفس الوقت على الساعة صفر أي بدء الدورة الجديدة . وبالطبع هذا يختلف عن الحال في المقاييس الطولية اذ لو صنعنا مقياساً زمنيا طوليا كالموضح في الشكل (٢٢) يتحرك عليه مؤشر من اليسار الى اليمين لوجدنا انه حين يصل المؤشر الى الساعة ١٢ أى الى نهاية المقياس يجب ان يعود بسرعة الى وضع الصفر كي يبدأ من جديد.



الشكل (٢٢) يبين مقياسا طوليا . ويدل المؤشر على ان الساعة ١/٢ ٤ بعد الظهر

ولكن في الاستطاعة الاستغناء عن حركة رجوع المؤشر هذه باستخدام عدد من المؤشرات يبدأ الواحد منها عمله من اول المقياس عند نقطة الصفر في اللحظة التي يصل فيها الثاني الى نهاية المقياس عند الساعة ١٢ وهكذا . ومن الواضح ان مقياسا كهذا تتناسب فيه المسافة التي يكون المؤشر قد قطعها في أي لحظة من اللحظات مع الوقت الذي يكون قد انقضى منذ بدء حركة المؤشر من نقطة الصفر . فاذا كان طول هذا المقياس ١٢ سنتيمتراً مثلا فان الوقت يعرف بقياس المسافة التي يكون المؤشر قد قطعها متجها الى اليمين. ففي أي لحظة لو وجدنا ان المؤشر يبعد عن الصفر ٤٫٥ سم مثلا فمعنى ذلك ان الساعة ٤٫٣٠ دقيقة وهكذا . ويسمى المقياس الذي

تتناسب فيه المسافة التي يقطعها المؤشر الذي يعمل عليه مع الزمن الذي ينقضي منذ بدء تحرك هذا المؤشر من نقطة الصفر **بالقاعدة الزمنية** . ووجه الساعة ماهو الا صورة مبسطة للقاعدة الزمنية او بتعبير اصح قاعدتان زمنيتان في واحدة نظراً لوجود قاعدة زمنية للساعات وأخرى للدقائق على قرص واحد • وحين تستخدم انبوبة شعاع المهبط كمداد ثوان في جهاز الرادار تستخدم معها قاعدة زمنية طولية مشابهة لتلك الموضحة في الشكل (٢٢) مع فارق بسيط وهو ان المؤشر في هذه الحالة ليس مؤشراً يدوياً او ميكانيكيا ولكنه البقعة المضيئة الناشئة عن اصطدام شعاع المهبط بوجه الانبوبة الداخلي المغطى بالطبقة القابلة للتوهج .

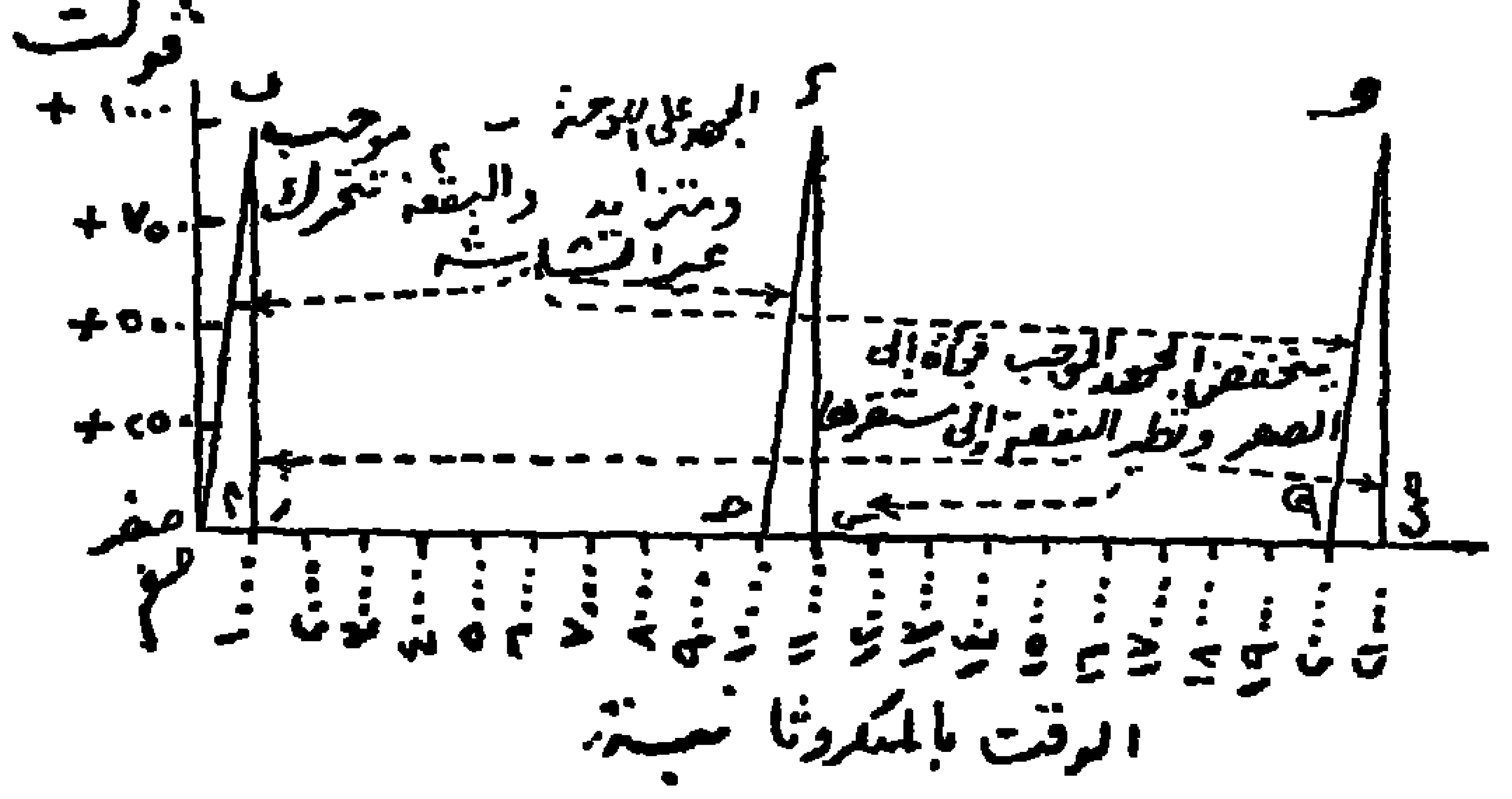
ولقد رأينا كيف انه اذا وضع جهد موجب متزايد على اللوحة س ٢ في انبوبة شعاع المهبط تتحرك البقعة المضيئة الى اليمين متجهة الى هذه اللوحة ، وكلما زاد الجهد كلما زادت المسافة التي تقطعها البقعة على الشاشة فاذا ما ازيل هذا الجهد فجأة طارت البقعة راجعة الى مركز الشاشة • ونظراً لعدم وجود اجزاء ميكانيكية في العملية فان القصور الذاتي والعزم لن يتدخلا في عمل شعاع الالكترونات وبذلك يمكن جعل رحلة البقعة على وجه الانبوبة سريعة جداً ثم تكرار هذه الرحلة كثيراً بفواصل زمنية متناهية في القصر .

والشكل (٢٣) يوضح موضع البقعة حين يكون جهد كل من اللوحات الاربعة صفرا اي ان شعاع الالكترونات لايكون متأثراً بأي انحراف من اي لوحة من اللوحات وبذلك تبقى البقعة ثابتة في مكانها المركزي

فاذا اريد ان تتحرك البقعة لجهة اليمين في زمن قدره ١٠٠٠ ميكروثانية ثم تعود بسرعة لنقطة الابتداء فتبدأ التحرك من جديد ثم تتكرر هذه العملية مائة مرة في الثانية ، كان من الضروري ان تتبع الخطوات الموضحة في الشكل (٢٤)

فنحن اذا وضعنا جهداً متزايداً على اللوحة س ٢ كما يبدو من الخطوط ا ب ، جـ د ، هـ و ، واستمر هذا الجهد في التزايد

الشكل (٢٣)
حين لا يكون هناك جهد ما على أي لوح من اللوحات الحارفة يبقى شعاع الالكترونات متمركزاً أي ان البقعة المضيئة تبقى في مركز الشاشة .



الشكل (٢٤) لكي نجعل البقعة المضيئة تتحرك على الشاشة من اولها الى آخرها مائة مرة في الثانية بحيث تقطع الرحلة الواحدة في الف ميكروثانية ، يوضع جهد موجب على اللوحة س٢ ويتزايد لمدة الف ميكروثانية ثم يزال فجأة . وتكرر هذه العملية مائة مرة في الثانية

الى اقصى حد نريده ، نجد انه كلما زاد الجهد زاد الجذب الواقع على البقعة المضيئة الى ناحية اللوحة س ٢ في اليمين ، وبذلك يمكننا تحديد موقع البقعة تحديداً تاما في أي لحظة نريدها وذلك بمعرفة الحد الذي وصل اليه الجهد

الموجب الموضوع على اللوحة س٢ . وحين يصل الجهد الموجب الى اقصاه تكون البقعة المضيئة قد وصلت الى اقصى رحلتها ناحية اليمين فاذا حدث اننا رفعنا هذا الجهد الموجب فجأة من على اللوحة س ٢ يتوقف الجذب وتطير البقعة عائدة الى مكانها الاصلي وتبقى هناك حتى تبدأ اللوحة س ٢ في اكتساب جهد جديد موجب متزايد فتبدأ البقعة في التحرك ثانية . وفي الشكل (٢٤) تمثل الخطوط ب ز ، دس ، وص الانخفاض المفاجىء للجهد من اقصى حد (١٠٠٠ ڤولت) الى صفر في حالتنا هذه . ويجب ان لا يغرب عن البال ان التعبير عن انخفاض الجهد فجأة يعني ان هناك وقتاً ينقضي ليتم هذا الانخفاض ولو انه ضئيل جداً (١ ميكروثانية تقريباً). والآن لنتأمل في الاشكال ٢٣ و٢٤ و ٢٥ و٢٦ . فعند ا في الشكل (٢٤) يكون الجهد الموضوع على اللوحة س ٢ صفرا وتكون البقعة في مكانها الاصلي . ثم يبدأ الجهد في الارتفاع لمدة الف ميكروثانية حتى يصل الى النقطة ب في الشكل (٢٤) مما يجعل البقعة تتحرك الى اليمين ، وحين يصل الجهد الى النقطة ب يزال فجأة حتى يصل الى النقطة ز في الشكل اى صفراً فتطير البقعة المضيئة عائدة الى مكانها الاصلي في حوالي ميكروثانية واحدة حيث تبقى هناك مدة ٨٩٩٩ ميكروثانية (٩٠٠٠ — ١) فيبدأ الجهد في الارتفاع مرة ثانية عند النقطة حـ ، وتتكرر هذه العملية كل ١٠٠٠٠ ميكروثانية او ١٠٠ مرة في الثانية وتستغرق رحلة البقعة الف ميكروثانية في كل مرة . ومن الممكن التحكم في هذه العملية بجعل الرحلة اسرع او ابطأ من ذلك وجعل الفواصل الزمنية اطول او اقصر من ذلك .

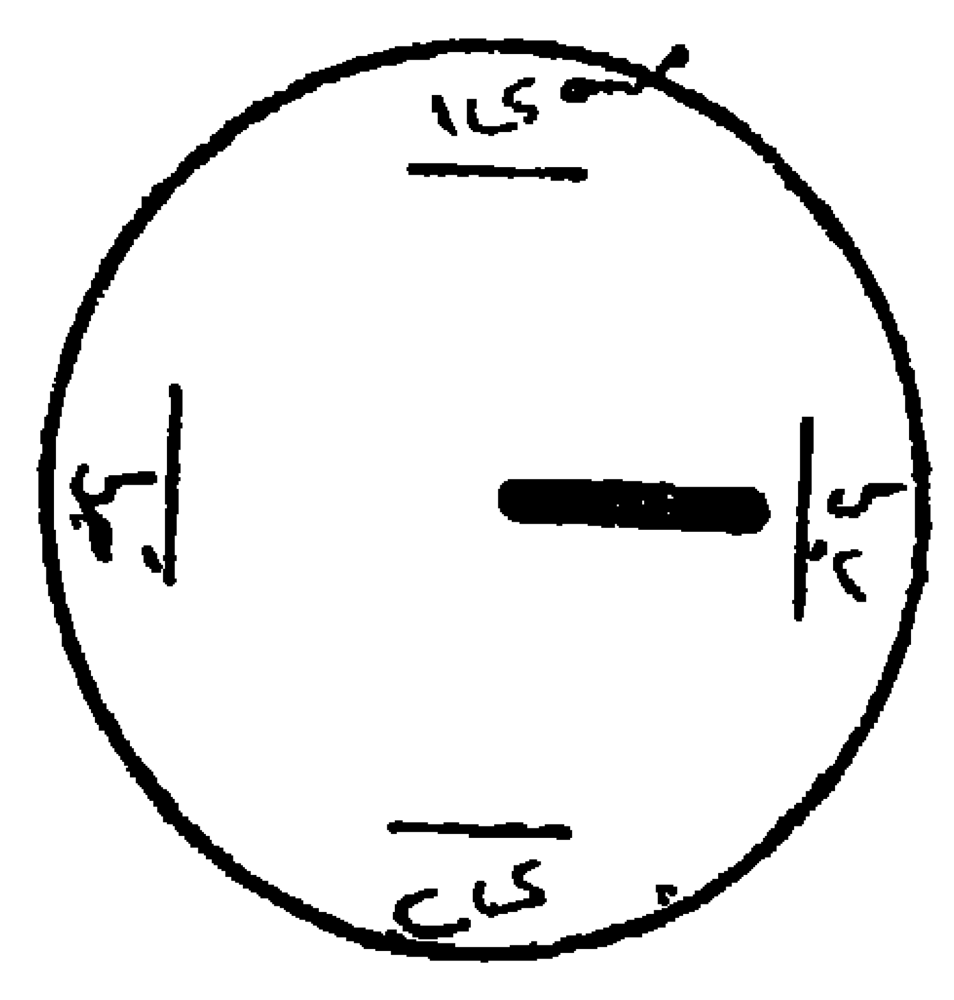
والبقعة في تحركها سريعة جداً فبفرض انها تقطع ست بوصات في فترة الالف ميكروثانية فمعنى ذلك انها تسري بسرعة ٣٤٠ ميل في الساعة ولكن طيرانها الى مكانها الاصلي يتم في ميكروثانية واحدة أي في جزء على الف من الزمن الأول اي ان سرعتها في ايابها تبلغ ٣٤٠ الف ميل في الساعة . ورغماً عن ان الزمن الذي تستغرقه رحلة الذهاب لجهة اليمين يبدو طويلا بالنسبة الى رحلة الاياب ، فان البقعة تكون سريعة الحركة جداً في رحلة الذهاب هذه لدرجة لا تستطيع معها العين ان تتتبعها وتراها كبقعة متحركة . فالذي تراه العين فعلا هو خط متوهج يبدو على وجه الانبوبة ويسمى الاثر Trace . ولكن هذا الاثر يشغل حتى الآن النصف الايمن للشاشة فقط في حين يبقى النصف الايسر خاليا لم يستفد منه .

الشكل (٢٥) حين يوضع جهد موجب متزايد على اللوحة س٢ تتحرك البقعة المضيئة اكثر واكثر لجهة اليمين.

الشكل (٢٦) اذا ازيل الجهد الموجب المتزايد الموضوع على اللوحة س٢ فجأة تطير البقعة المضيئة عائدة الى مركز الشاشة.

اذن فلا بد من ايجاد طريقة تمكننا من استغلال الشاشة كلها ، وقد

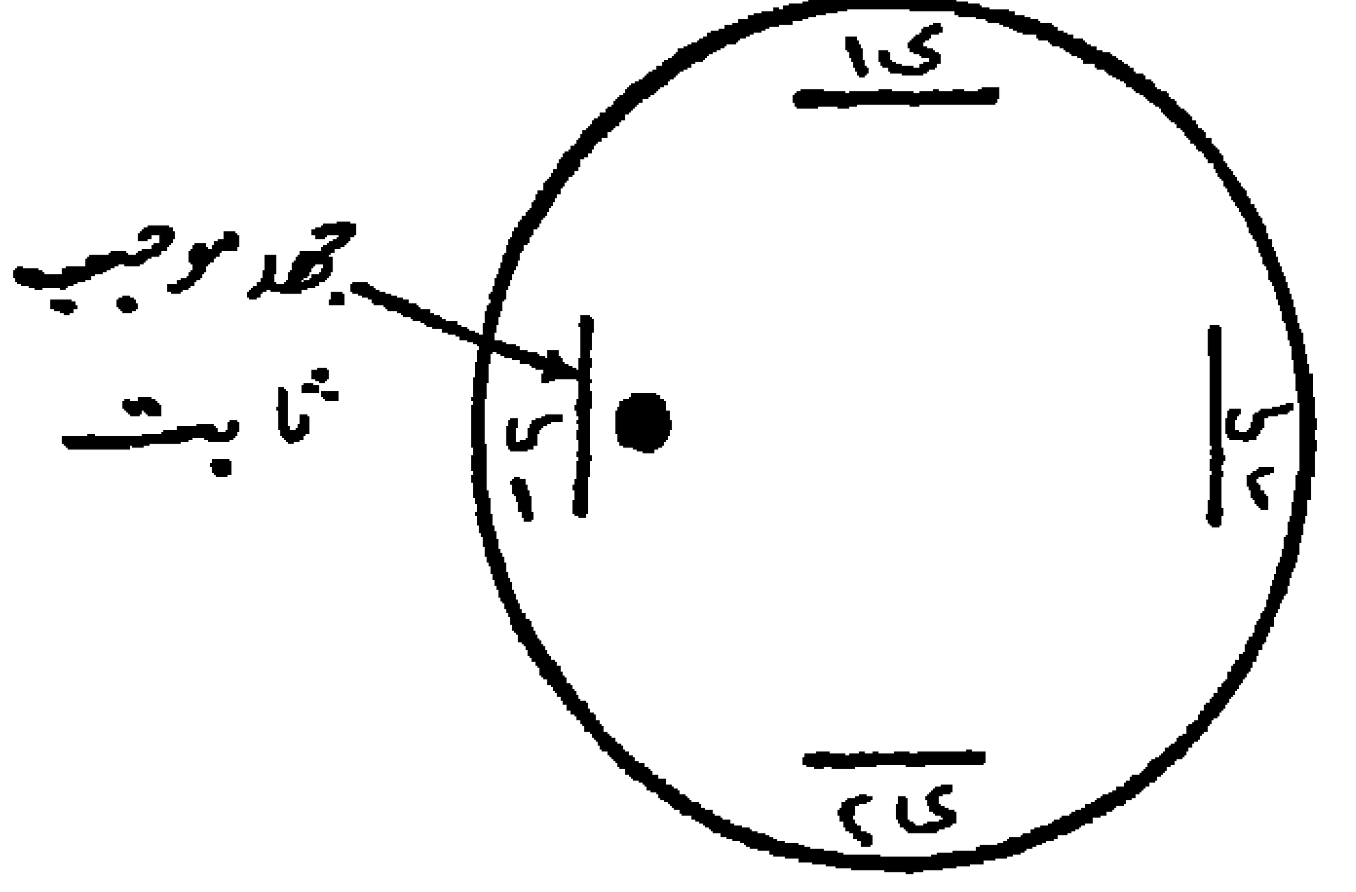
تيسرت هذه الطريقة بوضع جهد موجب ثابت مناسب على اللوحة س ١ مما ينقل مكان استقرار البقعة المضيئة من مركز وجه الانبوبة الى طرفها الايسر كما يراها الناظر الى الانبوبة من الامام في الشكل (٢٨) .



الشكل (٢٧)
ان تحرك البقعة المضيئة على الشاشة سريع جداً لدرجة لا تستطيع العين معها ان تتبعها . فتبدو البقعة في تحركها كخط متوهج على الشاشة

فاذا وضع جهد موجب عالٍ على اللوحة س ٢ تنجذب البقعة المضيئة من يسار الشاشة الى يمينها كما يبدو من الشكل (٢٩) ويمتد الاثر قاطعا عرض الشاشة كله .

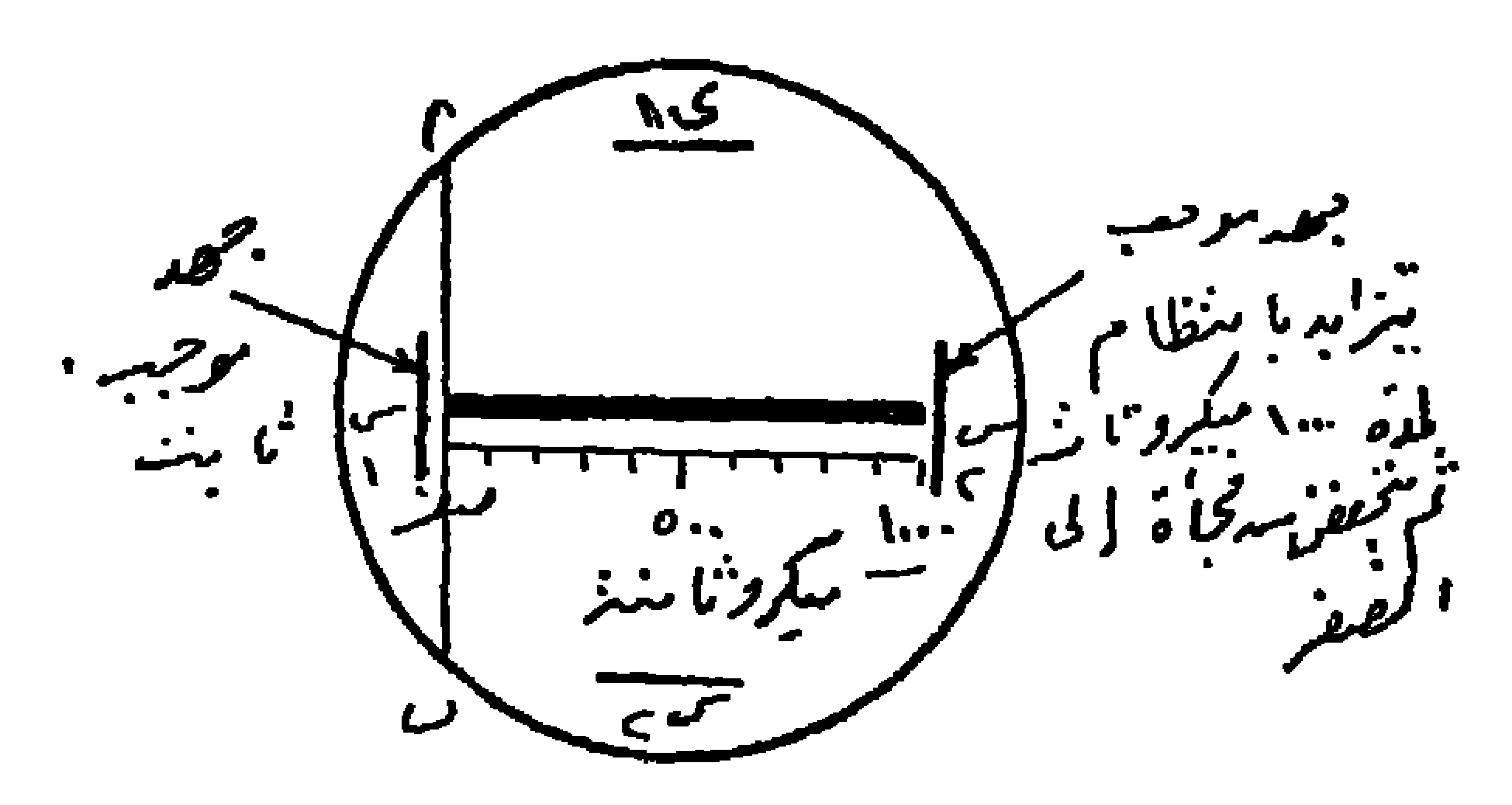
ويمكن تحديد مبدأ الاثر بخط شعري كالخط ا ب يثبت على وجه الانبوبة كما يمكن رسم مقياس مدرج الى الف ميكروثانية اسفل الاثر اذ ان البقعة تستغرق كل هذا الوقت في رحلتها من اول الاثر الى آخره . ويتناسب موقع البقعة في اي لحظة مع الزمن الذي يكون قد انقضى منذ تركت نقطة الابتداء في رحلتها خلال وجه الانبوبة .



الشكل (٢٨) ان جهداً موجبا مناسبا ثابت القيمة يوضع على اللوحة س ١ يسبب نقل مكان استقرار البقعة المضيئة من منتصف الشاشة الى قرب الطرف الايسر لوجه الانبوبة .

والخطوة الجديدة التي نريدها هي انشاء ما يجوز تسميته بقرص عداد

الثواني وهو الذي سوف يستعمل في توقيت رحلة الموجات اللاسلكية من الرادار الى الهدف وعودتها للمستقبل . ولنتذكر ونحن بهذا الصدد



الشكل (٢٩) يبين هذا الشكل كيف نتج من حركة البقعة المضيئة أثر يغطي الشاشة كلها افقيا . ومن الممكن تثبيت مقياس خاص للميكروثواني اسفل الاثر بعرض الشاشة . وبالخط الشعري ا ب يحدد بدء الاثر.

ان كل ٧ر١٠ميكر وثانية تقابل ميلا واحداً في المسافة . ولانشاء قرص عدد الثواني هذا في جهاز الرادار الذي يستخدم للانذار او المبكر من مسافات بعيدة يقسم المقياس الى اقسام يتناسب كل منها مع ١٠٧ ميكروثانية كما هو واضح في الشكل (٣٠) اي ان كل قسم يمثل عشرة اميال للمسافة.

كما يمكن تقسيم المقياس الى اقسام يتناسب كل منها مع ١ر٦ ميكروثانية اي الف ياردة مسافة وذلك في الاجهزة التي تستخدم في معاونة المدفعية المضادة للطائرات بتزويدها بمسافات دقيقة متتابعة على مدى قريب . وباستخدام بعض الاجهزة الميكانيكية الدقيقة يمكن جعل

المسافات الناتجة من الرادار دقيقة لأقرب ٢٥ ياردة وذلك بقياس الوقت لأقرب ميكروثانية .

تبقى الآن مشكلة واحدة مطلوب حلها الا وهي : اثناء تحرك البقعة المضيئة بهذه السرعة الجنونية وبحيث لا تستطيع العين البشرية تتبعها فتظهر كخط مضيء هو الاثر كيف يمكن تحديد الموضع الذي تكون هذه البقعة قد وصلت اليه على وجه الانبوبة في اى لحظة من اللحظات حتى يمكن قراءة المقياس تحتها لمعرفة الوقت الذي انقضى منذ تركت نقطة ابتداء الاثر حتى وصولها لهذا الموضع وبالتالي لمعرفة المسافة ؟

الشكل (٣٠)

نظراً لأن وقت عودة الصدى اللاسلكى يتناسب مع مسافة الهدف فان المقياس مدرج اما الى اميال كما هو واضح في الشكل أو الى ياردات .

في الواقع ليست هناك صعوبة في حل هذه المشكلة فما زالت عندنا لوحتان حارفتان لم تستخدما في اي غرض الى الآن وهما اللوحتان ى ١ ، ى ٢ . فاذا وضع جهد موجب على اللوحة ى ١ او جهد سالب على اللوحة ى٢ تنجذب البقعة المضيئة لأعلى على الشاشة . اذن فما علينا الا ان نجعل الصدى اللاسلكي حين رجوعه من الهدف يكسب اللوحة ى ٢ جهداً سالباً وذلك لمدة خاطفة . وتتلخص القصة كلها في الآتي :

تبدأ البقعة المضيئة رحلتها من الخط الشعري المثبت في يسار الشاشة متجهة الى اليمين بسرعتها الخاطفة ولكن بانتظام وفجأة تكتسب

اللوحة الحارفة ى ٢ جهداً سالباً بسبب عودة الصدى فينشأ عن ذلك في هذه اللحظة بالذات اندفاع البقعة المضيئة لأعلى ثم عودتها الى مستواها الطبيعي ثانياً دون ان تقطع رحلتها لجهة اليمين وذلك بسبب زوال الجهد السالب من اللوحة ى ٢ . وهذه الحركة الرأسية للبقعة ثم عودتها الى مستواها ثانياً تسببان كسرة في الاثر تشبه الرقم ٨ وتسمى فنياً الكسرة Break كما هو واضح في الشكل (٣١)

ويدلنا موضع هذه الكسرة على الوقت الذي انقضى منذ بدء رحلة البقعة المضيئة حتى اللحظة التي حدثت فيها الكسرة وبالتالى على مسافة الهدف . وفي الشكل تبتدىء الكسرة قبل علامة الخمسين ميلا وهذه هي مسافة الهدف .

الشكل (٣١) يستخدم الصدى حين وصوله الى المستقبل في وضع جهد سالب قصير الامد على اللوحة ي٢ مما يجعل شعاع الالكترونات يتنافر مع هذه اللوحة فتندفع البقعة المضيئة لأعلى مسببة كسرة في الاثر . وموضع الكسرة في هذا الشكل تشير الى ان مسافة الهدف تساوي ٥٠ ميلا تقريبا.

وفي الفصل القادم سنرى كيف امكن جعل البقعة المضيئة تبدأ حركتها في اللحظة المناسبة وكيف تنشأ الكسرة بسبب رجوع الصدى .

الفصل الثامن

كيف يقيس الرادار مسافات الاهداف

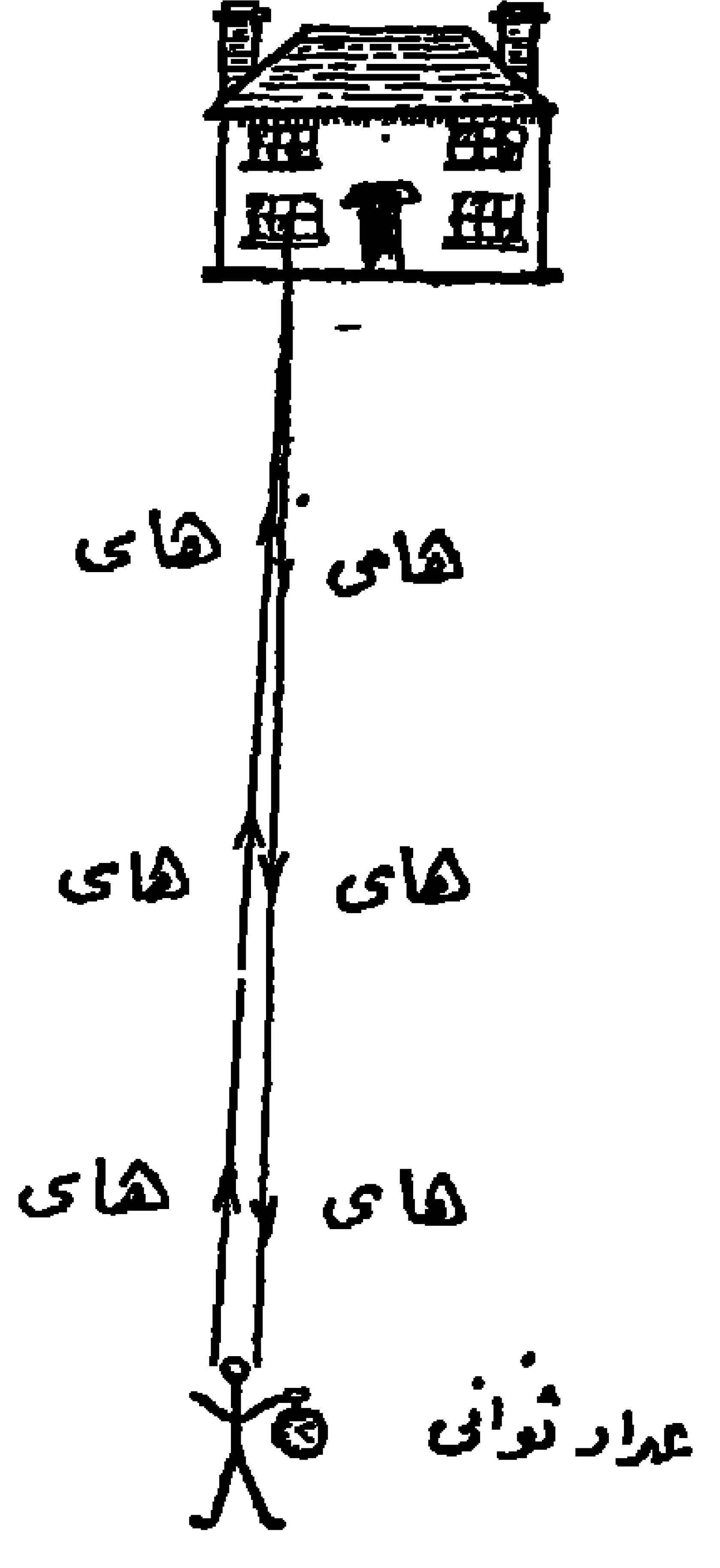
في طريقة قياس المسافات بواسطة صدى الصوت اذا نادى شخص قائلا « هاي » او اي نداء قاطع حاد وصحب نداءه هذا بان شغل عداداً للثواني ثم اوقفه حين يرتد الصدى الى اذنيه لاستطاع معرفة مسافة الغرض البعيد الذي ارتد منه الصدى كما يمكن لهذا الشخص ان يراجع النتيجة بتكرار العملية . والشكل (٣٢) يوضح كيف ان النداء لو كان غير قاطع اي كان طويلا أو ممتداً او كانت جملة نداءات متتابعة بسرعة لما امكن قطعياً قياس مسافة الهدف بطريقة صدى الصوت .

اذ ان الشخص القائم بتوقيت رجوع الصوت لن يستطيع تحديد النداء الذي تسبب عنه الصدى ، فيختل الامر ويستحيل قياس المسافة. والمبادىء الآتية تتحكم في اي نوع من انواع قياس المسافات بواسطة الصدى سواء كان صوتيا او لاسلكياً :

١ — يجب ان تكون العوامل التي تسبب الصدى قصيرة وقاطعة.

٢ — يجب ألا ترسل الموجة او الصوت المسبب للصدى قبل انقضاء وقت يكفي لرجوع الصدى الاول وتوقيته او بتعبير آخر يجب ان تكون

هناك فواصل زمنية بين الدفعات التي ترسل وينتج عنها الصدى أياً كان نوعها وان تكون هذه الفواصل الزمنية كافية لكي يعود خلالها الصدى الاول ويقاس وقت عودته ثم يضبط جهاز القياس لكي يكون مستعداً لتوقيت الصدى التالي .



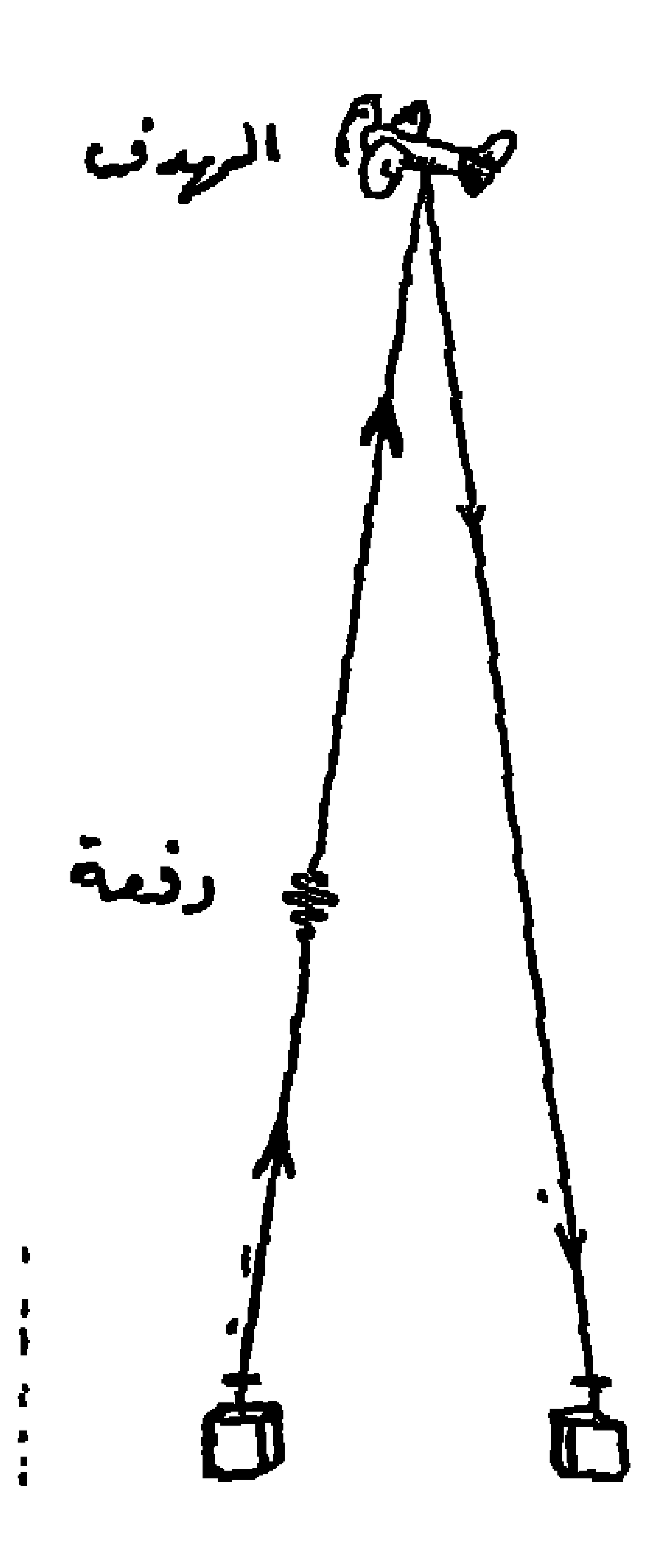
الشكل (٣٢)
في قياس المسافة بطريقة صدى الصوت من غير المجدي ارسال نداءات ممتدة او متتابعة بسرعة إذ أن ذلك يجعل تحديد النداء الذي يوقت بعداد الثواني مستحيلا.

الدفعات اللاسلكية : حين تصرخ قائلا « هاي » تنتقل الاوتار الصوتيه في الحنجرة من حالة سكون تام الى حالة نشاط حاد ثم ترجع فجأة الى حالة السكون اي ان الصرخة لا تبدأ ضعيفة ثم تشتد تدريجياً حتى يصل الصوت الى اعلا درجة ثم يبدأ في الخفوت تدريجياً الى ان ينعدم، وذلك لا ن اهتزاز الاوتار الصوتية العنيف يسبب موجات صوتية كبيرة تستمر في كبرها حتى تسكن الاوتار الصوتية فتنخفض ضخامة الموجات الصوتيه فجأة الى الصفر .

وفي الرادار يقابل الصرخة « هاي » التي تصدر من الانسان لقياس المسافة بواسطة صدى الصوت سلسلة قصيرة جداً من الموجات اللاسلكية الكبيرة تبدأ فجأة وتقف فجأة . وتسمى هذه السلسلة **الدفعة** Pulse بفتح الدال وتشديدها وسكون الفاء وفتح العين . وتنتج الدفعة بتشغيل المرسل فجأة بأقصى قوته ثم ابطاله فجأة . وهذا التشغيل والابطال يتم

اوتوماتيكيا بطرق فنية بديعه تختلف باختلاف اجهزة الرادار كما انه من الممكن تكرار هذه العملية الف مرة في الثانية او اكثر لو أردنا •

كيف تقاس المسافات بواسطة الرادار : في قياس المسافات بواسطة الرادار يحدث شيئان في وقت واحد : ففي اللحظة التي تخرج فيها الدفعة المباشرة Direct Pulse من المرسل الى الهدف تخرج دفعة اخرى من المرسل خلال توصيلات سلكية الى المستقبل ب في الشكل (٣٤) وتسمى هذه الدفعة الاخيرة بدفعة القفل او التوقيت Locking or Synchronising Pulse

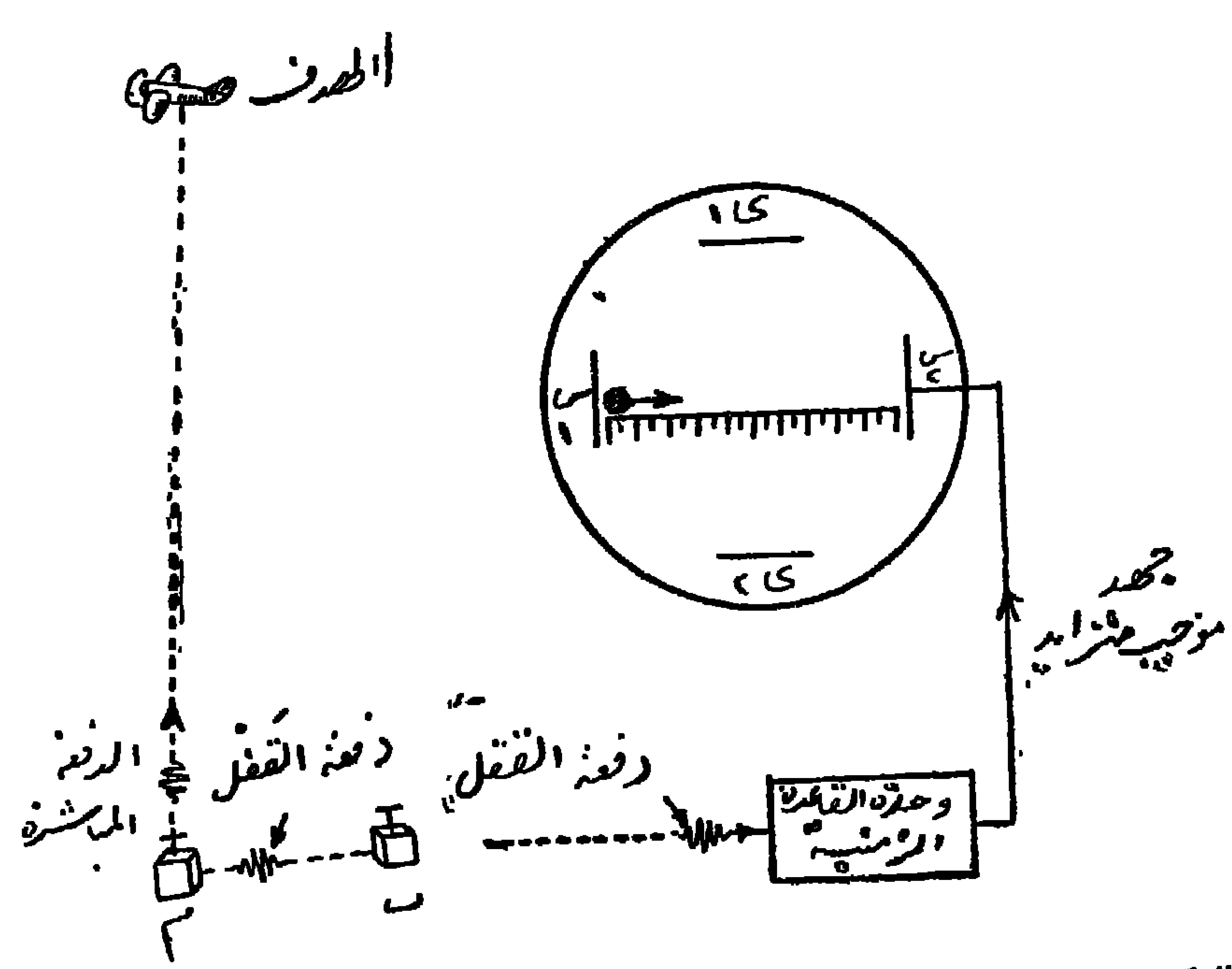


الشكل (٣٣)

في اجهزة تعيين المحل بواسطة الراديو يرسل جزء قصير من الموجات الاثيرية يسمى الدفعة اللاسلكية وهي تقابل في طريقة تقدير المسافة بواسطة صدى الصوت الصرخة « هاي » . ويجب ان يتوفر الوقت اللازم لكل دفعة من هذه الدفعات كي تتم رحلتها المزدوجة الى الهدف ومنه قبل ارسال الدفعة التالية .

ويوضح لنا الشكل (٣٥) عمل دفعة القفل فهي حين تصل الى المستقبل تُشغّل وحدة القاعدة الزمنية فتبدأ هذه في الحال في وضع جهد موجب متزايد على اللوحة س ٢ مما يجعل البقعة المضيئة تترك مكانها عند الخط الشعري يسار الشاشة متحركة الى اليمين • وبذلك تبدأ البقعة رحلتها التي تقطع فيها الشاشة أفقيا في نفس اللحظة التي تخرج فيها الدفعة المباشرة من المرسل الى الهدف •

ولكي يكون التعبير دقيقاً لا بد من الاشارة الى ان بدء حركة البقعة يتأخر فترة ضئيلة عن خروج الدفعة المباشرة وذلك لأن هناك

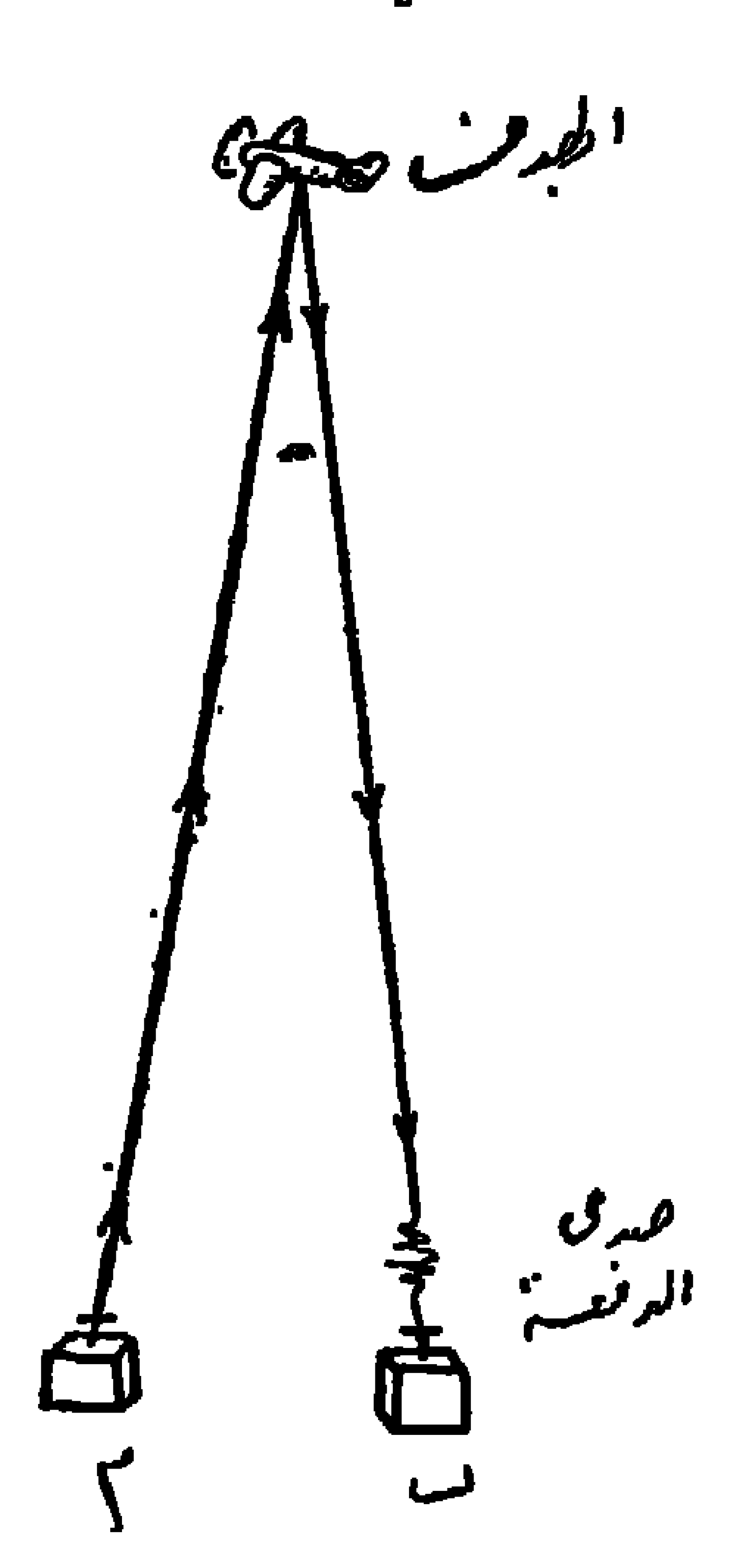


الشكل (٣٥) حين تصل دفعة القفل الى وحـدة القاعدة الزمنية تشغل دائرة كهربائية تضع جهداً موجبا متزايدا على اللوحة س٢ وبذلك تبـدأ البقعة المضيئة رحلتها عبر الشاشة في اللحظة التي تخرج فيها الدفعة المباشرة من المرسل الى الهدف.

الشكل ٣٤
في اللحظة التي تخرج فيها الدفعة المباشرة من المرسل الى الهدف تخرج دفعة القفل من المرسل مباشرة الى المستقبل .

زمن بسيط ينقضي بين خروج الدفعة المباشرة من المرسل وبين وصول دفعة القفل الى المستقبل بسبب المسافة التي بين المرسل والمستقبل. ولقد تعودنا في الرادار ان نحسب لأي فترة زمنية حسابها ولذلك يجب ان يعوّض عن هذا التأخير في جهاز قياس المسافة .

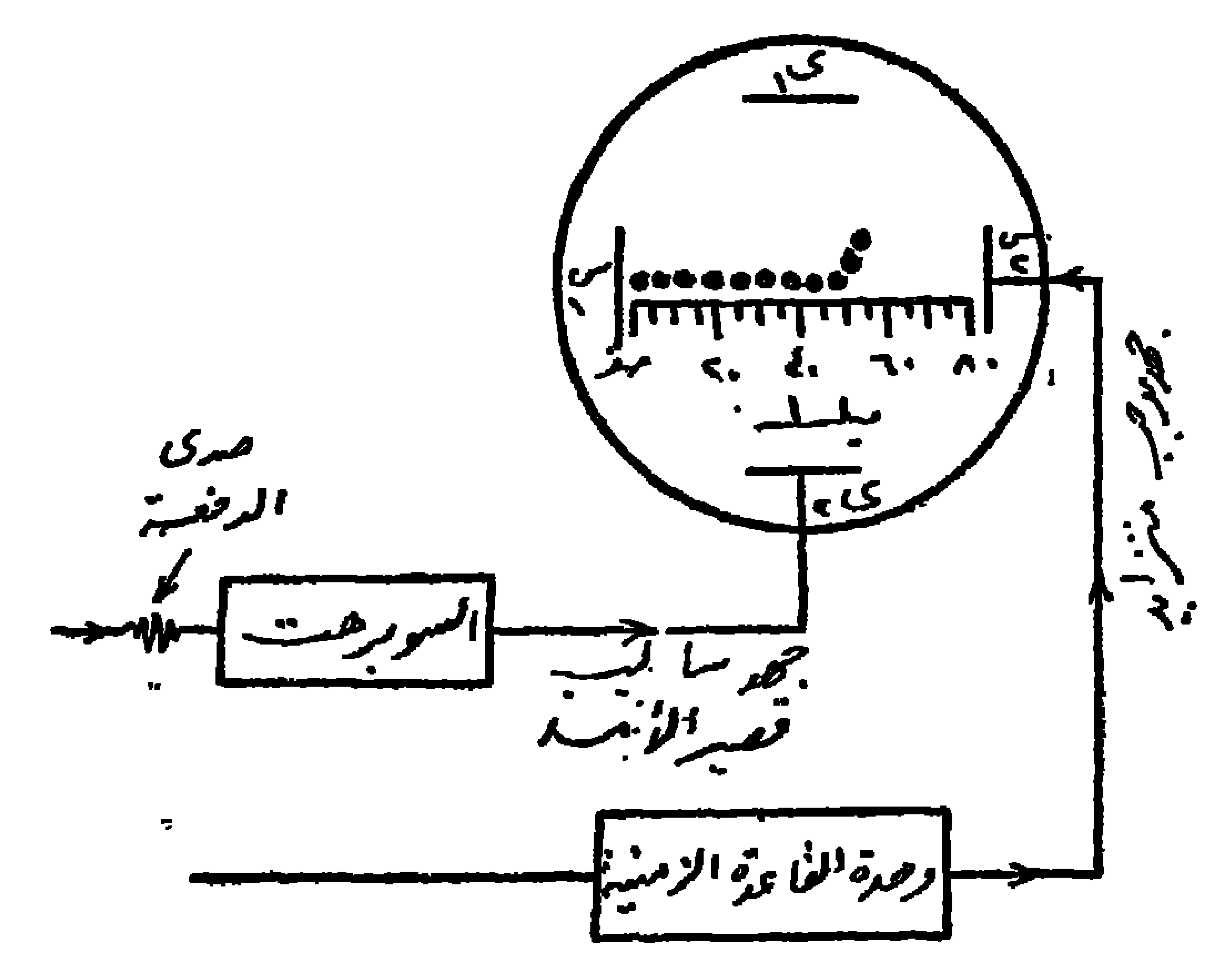
والشكل (٣٧) يوضح الخطوات التي تحدث حين عودة الصدى اللاسلكي منعكسا من الهدف الى المستقبل فان صدى الدفعة يمر حال وصوله في مستقبل يسمى السوبرهت وهي اختصار Supersonic-Heterodine حيث يكبر تكبيراً ضخما (ليس مستقبل السوبرهت بالشيء الخاص بالرادار فمعظم اجهزة الراديو الحديثة ما هي الا اجهزة سوبرهت) ثم يستعمل هذا الصدى بعد تكبيره في وضع جهدسالب قصير الامد على اللوحة ى ٢ مما يسبب اندفاع البقعة المضيئة لأعلى على الشاشة في اللحظة التي يصل فيها الصدى، ثم عودتها الى المستوى الافقي . وتتم هذه العملية دون ان تتوقف حركة البقعة الى يمين الشاشة .



الشكل (٣٦)
يبين عودة صدى الدفعة من الهدف الى المستقبل .

وفي الشكل (٣٧) تستطيع ان ترى ان مسافة الهدف الذي التقطه الجهاز هي ٥٠ ميلا اي ان الكسرة التي سببها وصول الصدى اللاسلكي حدثت بعد انقضاء ٥٠ × ١٠٫٧ = ٥٣٥ ميكر وثانية من خروج الدفعة المباشرة ودفعة القفل من المرسل والشكل (٣٨) يوضح عملية قياس المسافة بواسطة الرادار ببساطة تامة .

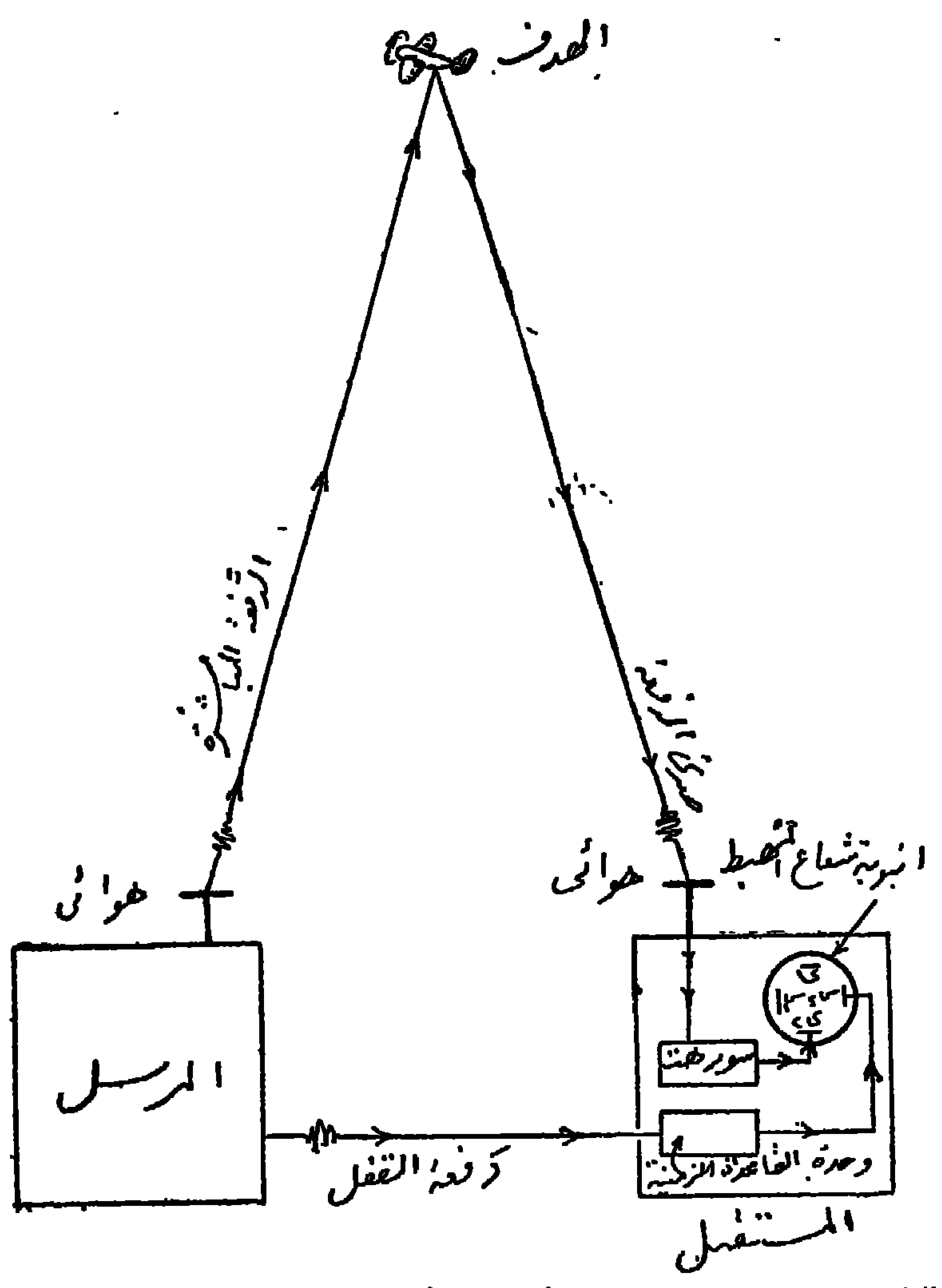
فبعد حدوث الكسرة تستمر البقعة في رحلتها حتى تصل الى اقصى يمين الشاشة تحت تأثير جذب اللوحة س ٢ وحالما يزول الجهد الموجب من



الشكل (٣٧) حين يعود صدى الدفعة يلتقط ويكبر تكبيراً عظيما في جهاز السوبرهت ثم يستخدم في وضع جهد سالب قصير الامد على اللوحة ي٢ مما يجعل البقعة المضيئة تندفع لاعلا اثناء حركتها عبر الشاشة فتنشأ كسرة في الاثر نستدل من موضعها بالنسبة للمقياس المثبت على الشاشة على مسافة الهدف .

على اللوحة س ٢ تطير البقعة الى مستقرها الاول وتبقى هناك حتى وصول دفعة القفل التالية من المرسل فتبدأ حركتها من جديد . وكما عرفنا لايجوز ان يصدر المرسل دفعة مباشرة جديدة وزميلتها دفعة القفل قبل وصول الصدى الناتج من الدفعة السابقة واستقبال هذا الصدى ومعالجته في المستقبل. كما انه يجب ان يُسمح للمستقبل بعد ذلك بإعداد نفسه لاستقبال صدى جديد . ومن هنا يتضح انه كلما زادت المسافة المطلوب قياسها

بواسطة الجهاز زاد الوقت الذي تستغرقه رحلة الدفعات المباشرة الى الهدف ثم العودة منه كصدى الى المستقبل . ويسمى عدد الدفعات التى يرسلها المرسل في الثانية الواحدة معدل التكرار Recurrence Frequency



الشكل (٣٨) يبين عملية قياس المسافة بواسطة الرادار ، ويجب ان يلاحظ انه رغما عن ان الدفعة المباشرة وصدى الدفعة موضحتين في الرسم إلا أن الدفعة المباشرة لا ترسل من المرسل قبل أن يتم استقبال صدى الدفعة السابقة.

وان زيادة او نقص معدل التكرار هذا لا يؤثران ابداً في مظهر الاثر والكسرة اللذين يظهران على شاشة انبوبة شعاع المهبط امام العامل الذي يشغل الجهاز . فاذا كان الهدف الذي يقيس الرادار مسافته ثابتاً فان الزمن الذي تقطع فيه الدفعه المسافة اليه ثم تعود منه كصدى لا يتغير وبذلك تحدث الكسرة دائماً في نفس الموضع على الأثر .

ويساعد تكرار تحرك البقعة على توضيح الاثر وتوضيح الكسرة بالضبط كما يحدث حين نمر بالقلم عدة مرات فوق رسم نريد توضيحه. فاذا كان الهدف مقتربا يتناقص الزمن الذي تستغرقه عودة كل صدى عن الذي قبله وبالتالي تحدث الكسرة في الأثر في كل مرة متأخرة لجهة اليسار مقداراً قليلا جداً عما كانت عليه من قبل وتستمر في هذا التأخر ولكن بمعدل ضئيل يصعب مع ضآلته على العين البشرية ان تلحظ انتقال الكسرة من موضع الى آخر . وبنفس الطريقة لو كان الهدف مبتعداً يتغير موضع الكسرة الى جهة اليمين اكثر واكثر دون ان تستطيع العين متابعة هذه الحركة وانما يمكن رؤية النتيجة على المقياس حين نلحظ ان المسافات متزايدة .

ولكن طريقة قياس المسافات بملاحظة موضع الكسرة على الأثر بالنسبة الى مقياس الاميال أو آلاف الياردات المثبت تحت الاثر انما هي طريقة تقريبية لا توصلنا الى الدقة التي ننشدها في قياس المسافة . وبسبب السرية لا يمكن توضيح الطرق الفنية التي تتبع لقياس المسافات بدقة اعظم وكل الذي يستطاع نشره في هذا المجال هو انه باتباع طرق كهربائية وميكانيكية مشتركه امكن الحصول على مسافات لأقرب ١٠ ياردة واظن

ان في هذا الكفاية . فضلا عن ان تشغيل الجهاز عملية بسيطة في حد ذاتها يستطيع الجندي العادي ان يؤديها بعد فترة قصيرة يقضيها في التمرين وخصوصاً اذا كان هذا الجندي مصريا ذكاؤه مشهور .

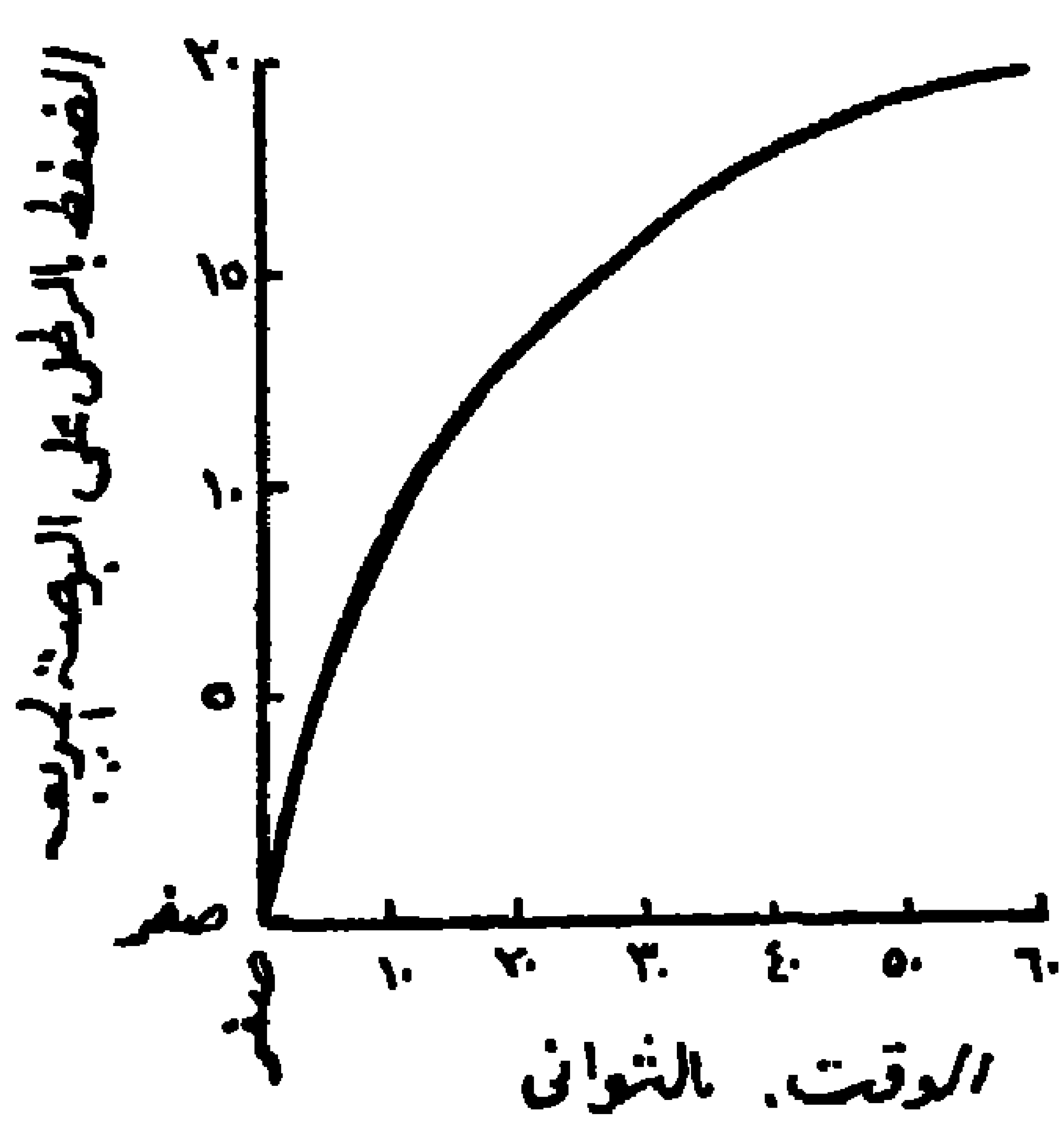
كلمة عن المكثفات : سبق ان أشير الى ان أهم جزء في الوحدة التي تبنى جهداً موجباً متزايداً على اللوحة س٢ هو الجهاز الكهربائي المسمى بالمكثف ومن المفيد ان نلقى بعض الضوء على هذا المكثف لما له من فوائد عديدة .

يمكن اعتبار المكثف كخزان للمياه او البنزين . فاذا سمح للكهرباء بالسريان خلاله فانه يمتلىء او بتعبير فني يشحن . فاذا اريد تفريغه كان لا بد من ايجاد وسيلة للسماح لشحنته الكهربائية بالتسرب منه. وكما يمكن تنظيم ملء وتفريغ خزان المياه بالتحكم في قطر الانبوبة الموصلة الى مثل هذا الخزان او الخارجة منه يمكن تنظيم شحن وتفريغ المكثف بتحديد قيم مقاومات المواصلات الكهربائية التي تصله بالمصدر الذي يستمد منه شحنته . ومقاومة الموصلات في حالة المكثف تشبه سعة اوضيق الانبوبة الموصلة لخزان المياه. فكلما ضاقت الانبوبة في حالة الخزان زادت المقاومة في حالة المكثف. فاذا وصل مكثف بمصدر للتيار الكهربائي لشحنه، تتزايد الشحنة او الجهد الذي يكتسبه المكثف حتى تأتى لحظة يتم فيها شحنه تماما ولا يقبل بعد ذلك مرور تيار كهربائي جديد خلاله . وبالعكس لو اردنا تفريغه وهو مشحون تسري منه الكهرباء حتى اذا تم تفريغه اصبح جهده صفراً . وباختيار المكثف المناسب والمقاومات المناسبة يمكن التحكم في

الوقت الذي يتم فيه بناء الجهد الموجب المتزايد على اللوحة س ٢ وذلك حال وصول دفعة القفل من المرسل ، فيمكننا ان نجعل هذا الوقت طويلا او قصيراً كيفما نريد . ويتوقف الزمن الذي يحدّد لكي يصل فيه جهد اللوحة س ٢ من الصفر الى اقصاه على أقصى مسافة نريد الجهاز أن يقيسها . فلو انه كان مصمما ليكون جهاز انذار مبكر او لمعاونة الملاحة على مسافات بعيدة قد تبلغ مائة ميل مثلا كان لا بد للبقعة المضيئة من ان تنتقل من يسار الشاشة الى اقصى يمينها في ١٠٧٠ ميكروثانية (كل ميل مسافة يقابل ٧و١٠ ميكروثانية) ولذلك نختار مكثفا يشحن في ١٥٠٠ ميكروثانية مثلا لكى نحتفظ باحتياطي كاف . اما اذا كان الغرض من استخدام الرادار هو قياس مسافات اقصاها ٤٠٠٠٠ ياردة (كل ١و٦ ميكروثانية تقابل ١٠٠٠ ياردة) فان قاعدة زمنية طولها ٣٠٠ ميكروثانية تكون هي المطلوبة ، وعلى هذا الأساس يختار المكثف والمقاومات المناسبة. وتشبه عملية شحن المكثف عملية نفخ اطار السيارة الى حد كبير . فحين يبدأ نفخ الاطار يكون مفرغا من الهواء وبذلك لا تكون هناك مقاومة لدخول الهواء كي يملأ الفراغ . وكلما زاد الهواء المضغوط الداخل الى الاطار زاد الضغط داخل هذا الاطار وزادت المقاومة التي تعترض دخول كمية جديدة من الهواء المضغوط وبذلك تصبح عملية النفخ اصعب فينخفض المعدل الذي يرتفع به الضغط داخل الاطار حتى اذا قارب الضغط الداخلي في الاطار أن يصل الى اقصاه اشتدت مقاومته للهواء الداخل بدرجة تجعل

ايصال الضغط داخل الاطار الى الحد المطلوب يستغرق بعض الوقت. وفي الشكل (٣٩) منحنٍ بياني يمثل هذه العملية .

ففي بادىء الامر يزداد الضغط بسرعة لعدة ثوان وبعد ذلك يتضاءل معدل الزيادة ويصبح صغيراً جداً في الثواني الأخيرة لعملية النفخ . وفي شحن المكثف يقابل الجهد الكهربائي ضغط الهواء في حالة الاطار فهو يزداد بسرعة في اللحظات الاولى لعملية الشحن وكلما زاد هذا الجهد زادت مقاومة

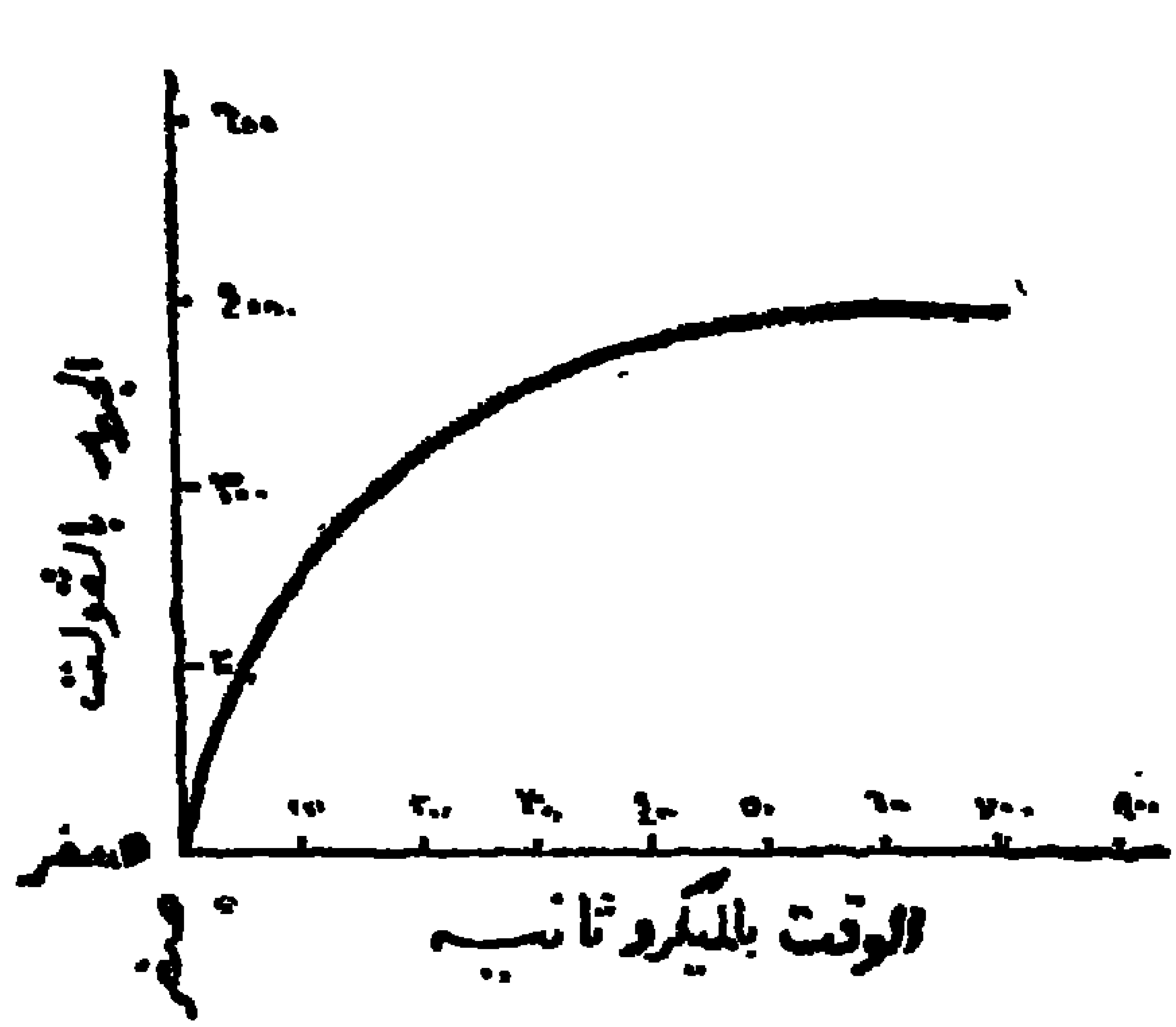


الشكل (٣٩) اثناء نفخ اطار من المطاط ينخفض معدل ارتفاع الضغط انخفاضا تصاعديا كلما زادت المقاومة التي تعترض دخول الهواء المضغوط .

المكثف لدخول التيار اليه فيقل معدل تزايد الجهد حتى يصل الى حد صغير حين يقترب من نهاية الشحن .

وبالقاء نظرة على الشكل (٤٠) وهو الذي يوضح بيانيا عملية شحن المكثف نجد انه مطابق للشكل (٣٩) تقريباً. مما سبق يتضح انه باستخدام مكثف وشحنه لوضع الجهد الموجب المتزايد على اللوحه س٢ (وهي التي تجذب البقعة المضيئة الى يمين الشاشة) نجعل هذا الجهد يتزايد بسرعة بدون انتظام فهو يزيد بسرعة في اللحظات الاولى للشحن ثم يقل معدل الزيادة بعد ذلك مما يجعل السرعة التي تسري بها البقعة المضيئة على وجه الانبوبه غير منتظمة

فهي كبيرة في اول الامر ثم صغيرة قرب النهاية . ولـكن ذلك غير ذي بال طالما ان البقعة تـكمل رحلتها الى النهاية وطالما ان معدل سرعتها غير المنتظم معروف لنا ، اذ يمكن جعل تداريج المقياس المثبت تحت القاعدة الزمنية متناسبة مع هذه السرعة غير المنتظمة . الا انه في الامكان جعل تزايد الجهد الموجب على اللوحة س٢ وبالتالي سرعة البقعة المضيئـة تزايداً منتظما وذلك باستخدام دوائر كهربائية خاصة . واننا لنفعل ذلك في اجهزة خاصة من اجهزة الرادار.



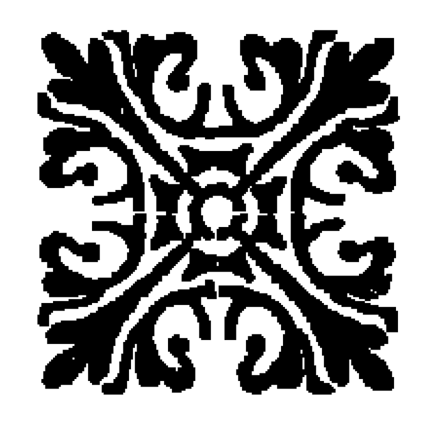
الشكل (٤٠)
تشبه عملية شحن المكثف الى حد كبير عملية ملء اطار من المطاط بالهواء في جميع مراحلها.

ومن السهولة بمكان تفريغ اطار منفوخ من الهواء بسرعة فما علينا الا ازالة الصمام فيندفع منه الهواء المضغوط المحبوس داخل الاطار دون ادنى مقاومة تقريبا . ولـكن عملية التفريغ هذه تـكون سريعة في بادىء الامر كعملية الملء نظراً لوجود ضغط داخلي عال يساعد على طرد الهواء الى الخارج ، وحين يقل هذا الضغط قرب نهاية التفريغ يضعف العامل الذي كان يساعد في طرد الهواء مما يستدعى وقتا طويلا نسبياً يستكمل فيه تفريغ الاطار .

والمكثف كذلك لو وصل بسلك ذي مقاومة ضعيفة لبدأ في التفريغ بسرعة كبيرة متأثراً بالجهد العالي الذي يدفع منه التيار الكهربائي، ثم يخفض معدل التفريغ بانخفاض الجهد نتيجة لتسرب الشحنة الى المكثف . وهذا التفريغ السريع الذي يحدث المكثف الموجود ضمن وحدة القاعدة الزمنية بجهاز الرادار هو الذي يزيل الجهد الموجود على اللوحة س ٢ حين يصل هذا الجهد الى اقصاه أي حين تصل البقعة المضيئة الى اقصى اليمين على الشاشة مما يسبب طيران هذه البقعة الى مكانها الاصلي يسار الشاشة.

ورأينا في الفصول السابقة كيف يستحيل استخدام طريقة تقدير المسافة بصدى الصوت مع الاهداف السريعة كما ذكرت اسباب هذه الاستحالة . والآن نريد ان نعرف المسافة التي تكون طائرة مقتربة بسرعة ٢٠٠ ميل في الساعة وتبعد عنا عشرين ميلا قد قطعتها في الفترة التي تستغرقها رحلة الدفعة اللاسلكية اليها وعودتها منها كصدى الى مستقبل الرادار . فلكي تُحل هذه المسألة يجب ان نعرف ان ياردة واحدة في الثانية تقابل ميلين في الساعة تقريبا وان الرجل الذي يشترك في سباق المائة ياردة ويقطعها في عشر ثوان اي بمعدل عشرة ياردات في كل ثانية يكون متوسط سرعته عشرين ميلاً في الساعة . فاذا حللنا المسألة عكسيا لوجدنا ان الطائرة التي تسير بسرعة ٢٠٠ ميل في الساعة تقطع ١٠٠ ياردة في الثانية تقريبا ونحن نعرف جيداً ان كل ميل مسافة يقابله ٧و١٠ ميكروثانية في توقيت الرادار اي ان مسافة ٢٠ ميلاً تقابل ٢١٤ ميكروثانيه ولكن الهدف الذي يسير بسرعة ٢٠٠ ميل في الساعة يقطع ١٠٠ يارده او ٣٦٠٠

بوصة في ثانية واحدة اي ٣٦ بوصه في ١/١٠٠ من الثانية اي٦و٣بوصة في ١/١٠٠٠ من الثانية اي٠٠٣٦و٠من البوصة في ميكروثانية واحد. اي ان الطائرة تقطع مسافة ٧٥ر٠ من البوصة تقريبا في ٢١٤ ميكروثانية ، ومعني ذلك ان المقاتلات الحديثة التي تبلغ سرعتها ٤٠٠ ميل في الساعة والتي نشتبك معها بجهاز الرادار لاتقطع اكثر من بوصتين في المسافة حتى تكون الدفعة المباشرة قد خرجت من مرسل الرادار واصطدمت بها وعاد صداها الى المستقبل لكي تعرف فيه مسافة الطائرة . وهذا المثال دليل قوي على عظمة الرادار الذي يعطينا مسافة الهدف الحالية دون نقص او زيادة فيها فتحول هذه المسافة في البريدكتور الى مسافة مستقبله ترسل كهربائياً الى المدافع المضادة للطائرات فيكون اشتباكها مع طائرات العدو دقيقا الى اقصى حدود الدقة .



الفصل التاسع

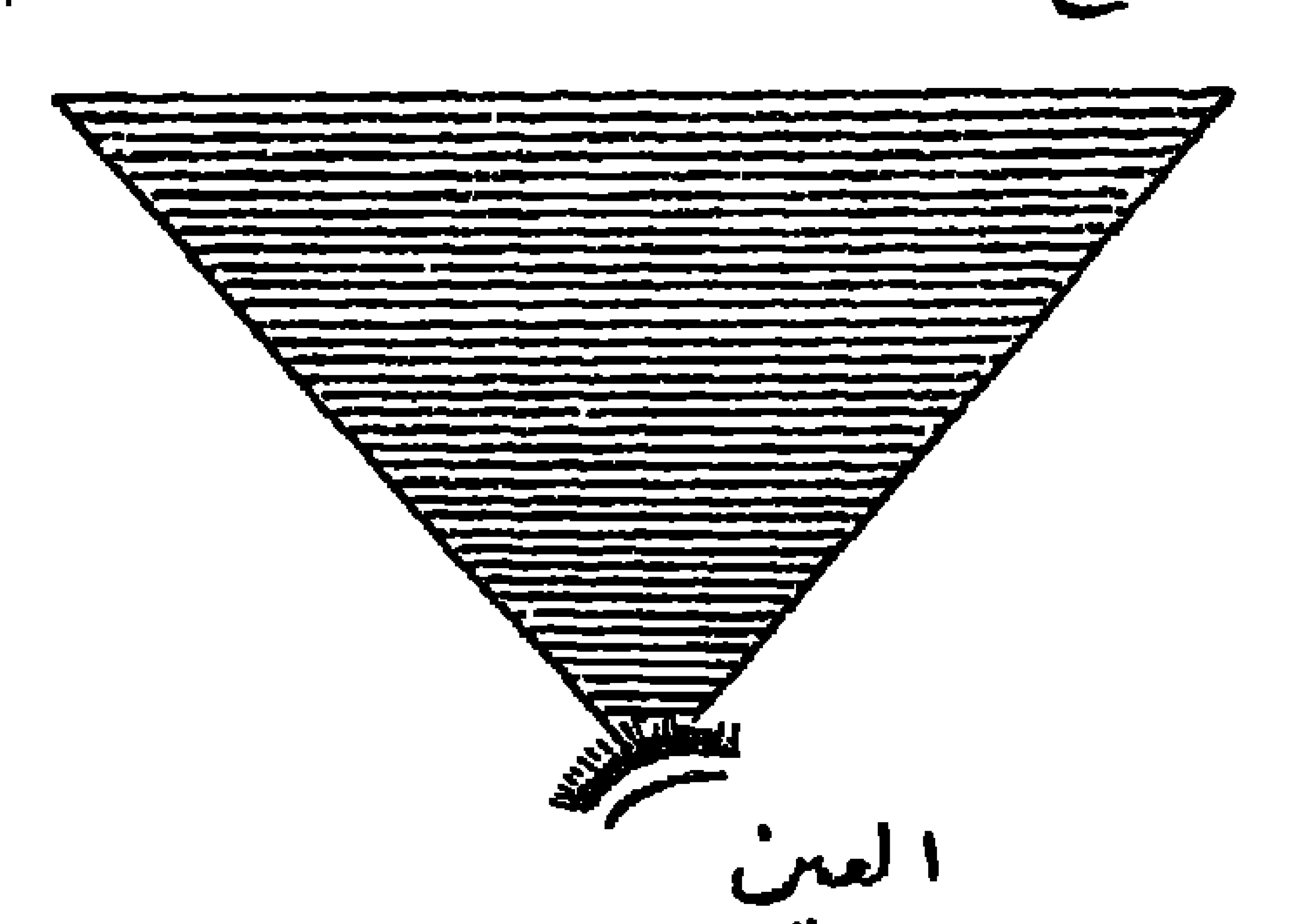
هوائيات الرادار

اننا لا نكون قد جاوزنا الحقيقة اذا اعتبرنا ان وظيفة عدسة العين لا تختلف كثيراً عن وظيفة هوائي جهاز الراديو العادي أو هوائي مستقبل الرادار . فعدسة العين تجمع الموجات الضوئية وترسلها الى الشبكية حيث تكتشف هذه الموجات ، ومن الشبكية تسري هذه الموجات الى المخ عن طريق العصب الضوئي حيث تسبب الاحساس الذي نعرفه بالابصار .

وهوائي المستقبل يجمع الموجات الاثيرية ويرسلها الى المكتشف اللاسلكي في جهاز الاستقبال . فاذا كانت الطاقة المستمدة من هذه الموجات ضعيفة (وهذا هو الواقع دائما) فانها تمر في مرحلة تكبير بواسطة صمامات وظيفتها التكبير ، وتتم هذه العملية قبل ان تصل هذه الموجات الى المكتشف . ويقابل ذلك احتياج العين الى استخدام منظار مكبر اذا كانت الاغراض التي نروم رؤيتها بعيدة جداً او الى مجهر اذا كانت الاجسام من الضآلة بحيث لا تستطيع العين المجردة اوالمنظار كشفها. والعين تبحث عن موجات الضوء في كل الاتجاهات، كما يمكن القول ان الهوائيات تبحث عن الموجات اللاسلكية في مختلف الاتجاهات . وميدان النظر للعين محدود جداً مهما كانت قوة الابصار حادة والدليل على ذلك ان الانسان

لايستطيع ان يرى مايحدث خلفه. وباجراء تجربتين بسيطتين يمكن ان نتبين الى اي مدى يكون ميدان النظر الامامي للعين محدوداً : اقفل احدى عينيك وحدد نظرك بالاخرى الى غرض معين ثابت امامك مباشرة . ثم افرد الذراع المجاور للعين المفتوحة للخارج وافرد الاصبع السبابة للامام وحركه ببطء حركة دائرية محتفظاً بالعين المفتوحة ثابتة على الغرض الذي اخترته دون ان تحركها او تحرك رأسك . سوف تتحقق من انك لن تستطيع رؤية السبابة حين يكون الذراع مفروداً تماما بمستوى الكتف ولن يمكنك ان ترى هذا الاصبع الا اذا حركت ذراعك للداخل. وباستمرار تحريكه للداخل يأتي وقت لا تستطيع فيه ان ترى الاصبع السبابة ثانياً وذلك حين يمر الذراع امام العين ويقطع الانف خط البصر اليه .

والشكل (٤١) يوضح الى حد كبير شكل ميدان النظر في هذه التجربة . اما التجربة الثانية فهي كالتجربة الاولى تماما من حيث الاستعداد لها فقط اجعل ذراعك ممتداً

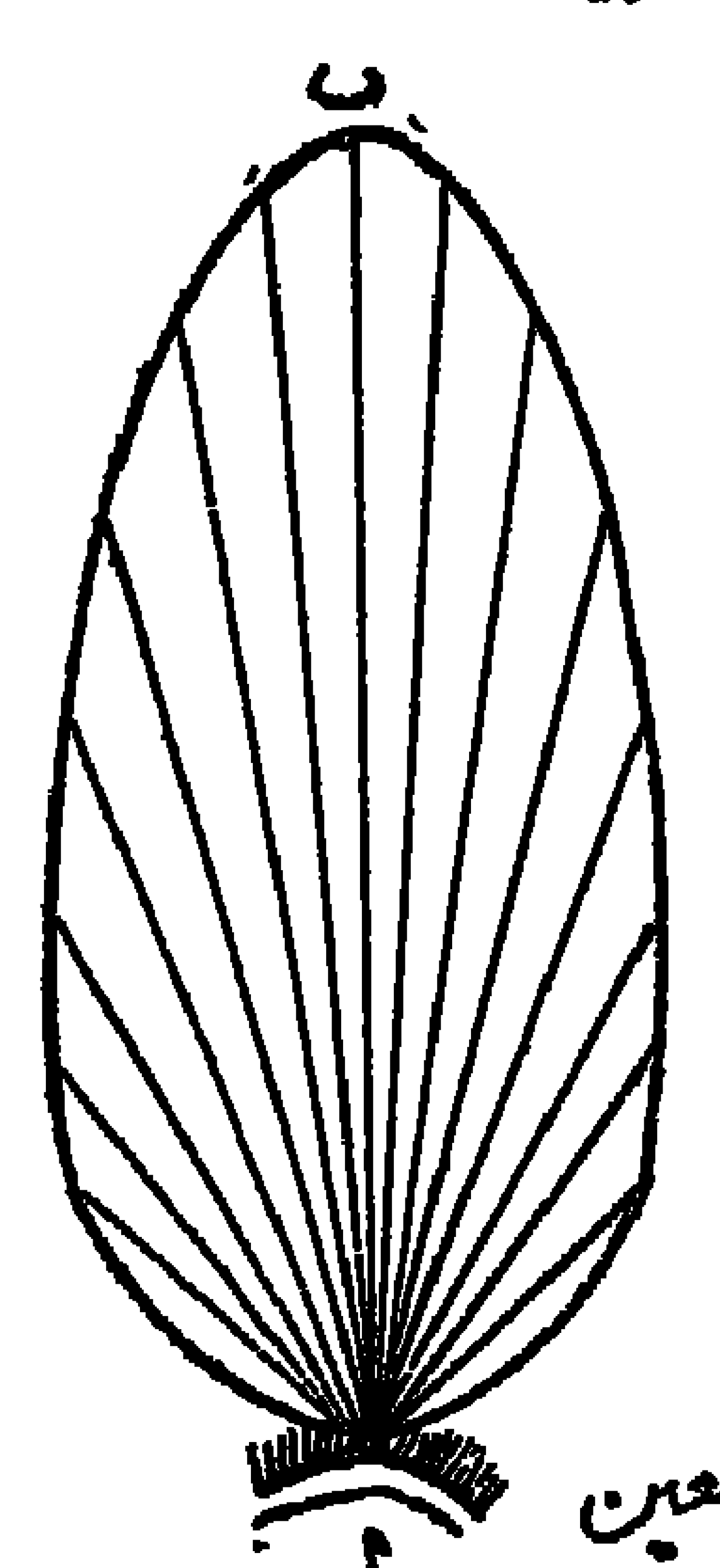


الشكل (٤١) يبين ميدان النظر الافقي للعين .

للامام في مستوى العين بينها وبين الغرض الذي تنظر اليه . واستمر في تحريك السبابة كما في التجربة السابقة . حينئذ سوف تستطيع ان ترى بوضوح كل ثنيات الجلد التي تتكون منها بصمة الاصبع وباختصار ترى كل شيء في السبابة . فاذا أنت حركت ذراعك يمينا أو يساراً حركة

بسيطة مع ثبات الرأس والعين فان الاصبع يظل مرئيا ولكن درجة الوضوح تقل عما كانت عليها حين كان امام عينك مباشرة. حرك العين بعد ذلك لتصبح موجهة على الاصبع مباشرة تعود ثانياً فترى كل التفاصيل. ويمكن عمل رسم بياني لميدان النظر في التجربة الثانية كما هو موضح في الشكل (٤٢) حيث تمثل اطوال الخطوط الممتدة من العين في هذا الشكل حدة النظر في الاتجاهات المختلفة لميدان النظر بفرض ان العين مثبتة على غرض للامام تماما. وبرسم منحني يحد هذه الخطوط كذلك المنحني الموجود بالشكل ينتج عندنا شكلا نسميه الرسم القطبي Polar Diagram

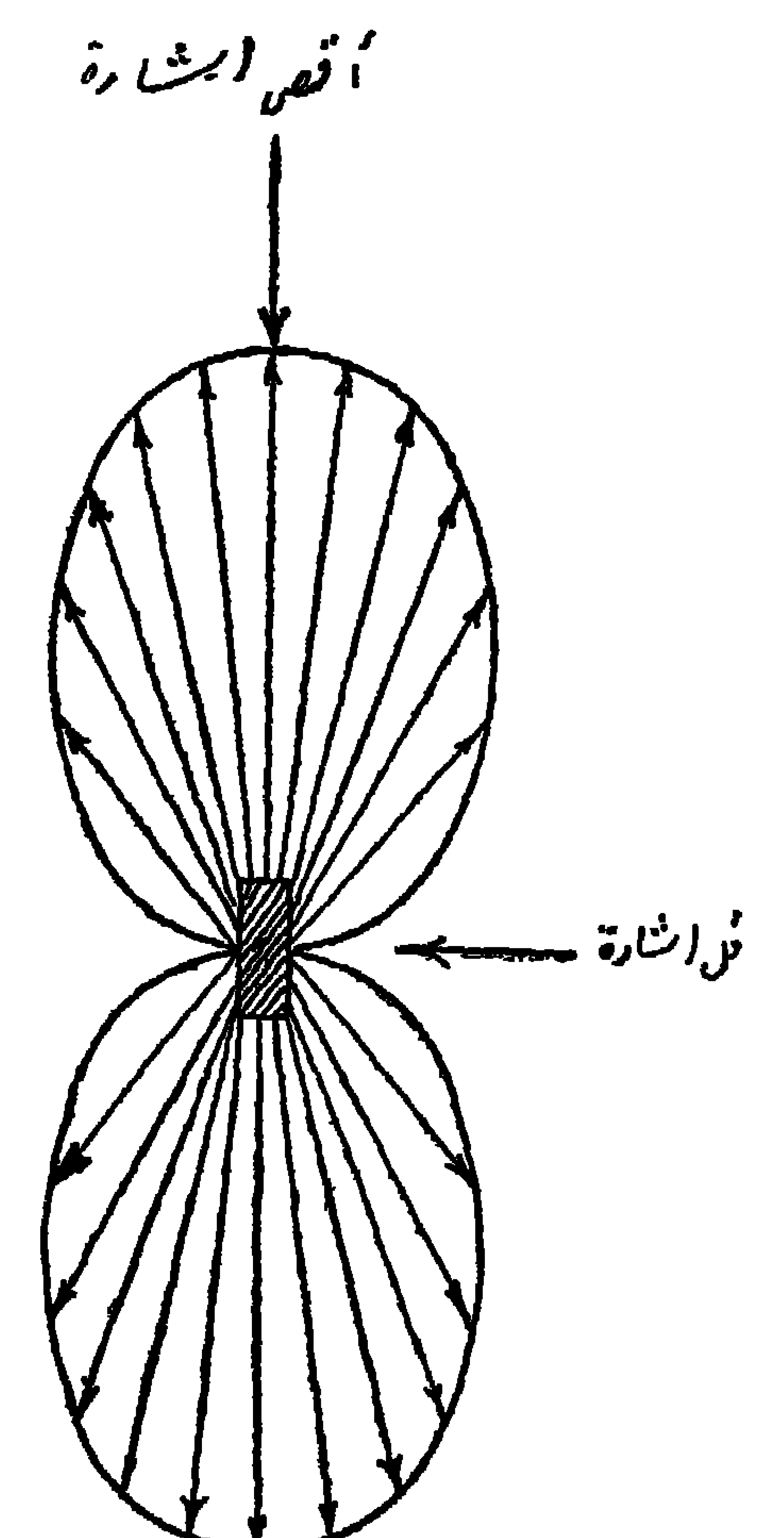
الرسوم القطبية: عرفنا من الفصل الثاني كيف ان الجهاز اللاسلكي المتنقل خواصاً اتجاهية فهو يستقبل احسن ما يمكن حين يكون الهوائي المفروز في خط واحد مع محطة الارسال التي يستقبل هذا الجهاز اشاراتها. في حين تنخفض جودة الاستقبال الى الصفر تقريباً حين يكون الهوائي عموديا على الخط الواصل من محطة الارسال الى الجهاز.



الشكل (٤٢) الرسم القطبي لميدان النظر للعين وقد مثلت فيه الدرجة التي تكون عليها حدة النظر في كل اتجاه من الاتجاهات باطوال الخطوط المختلفة الصادرة من العين.

ووجد ان لبعض الهوائيات المستعملة في اجهزة الارسال وأجهزة الاستقبال في الرادار خواصاً اتجاهية معينة. اي انها لا ترسل او تستقبل بدرجة واحدة في كل الاتجاهات وهذه

الحقيقة من أهم ما يمكن وتستغل الى حد كبير في الرادار كما سنرى فيما بعد . ولكل هوائي من هذه الهوائيات التي نتكلم عنها خواص اتجاهية في كلا المستويين الافقي والرأسي. والرسومات القطبية إن هي الا وسيلة توضح بيانيا درجة الارسال او درجة الاستقبال للهوائي سواء في المستوى الرأسي او في المستوى الافقي . وهى لا تختلف عن ذلك الرسم الموجود في الشكل (٤٢) الا في انها ذات حلقتين واحدة في الامام واخرى في الخلف نظراً لان الهوائي يستطيع ان «ينظر» خلفه كما ينظر امامه بدرجة متساوية والاطوال التي توجد في مثل هذه الرسومات انما هي اطوال نسبية للمقارنة بين درجات الارسال او الاستقبال في الاتجاهات المختلفة وليست



الشكل (٤٣)
الرسم القطبي لجهاز اللاسلكي البسيط المتنقل

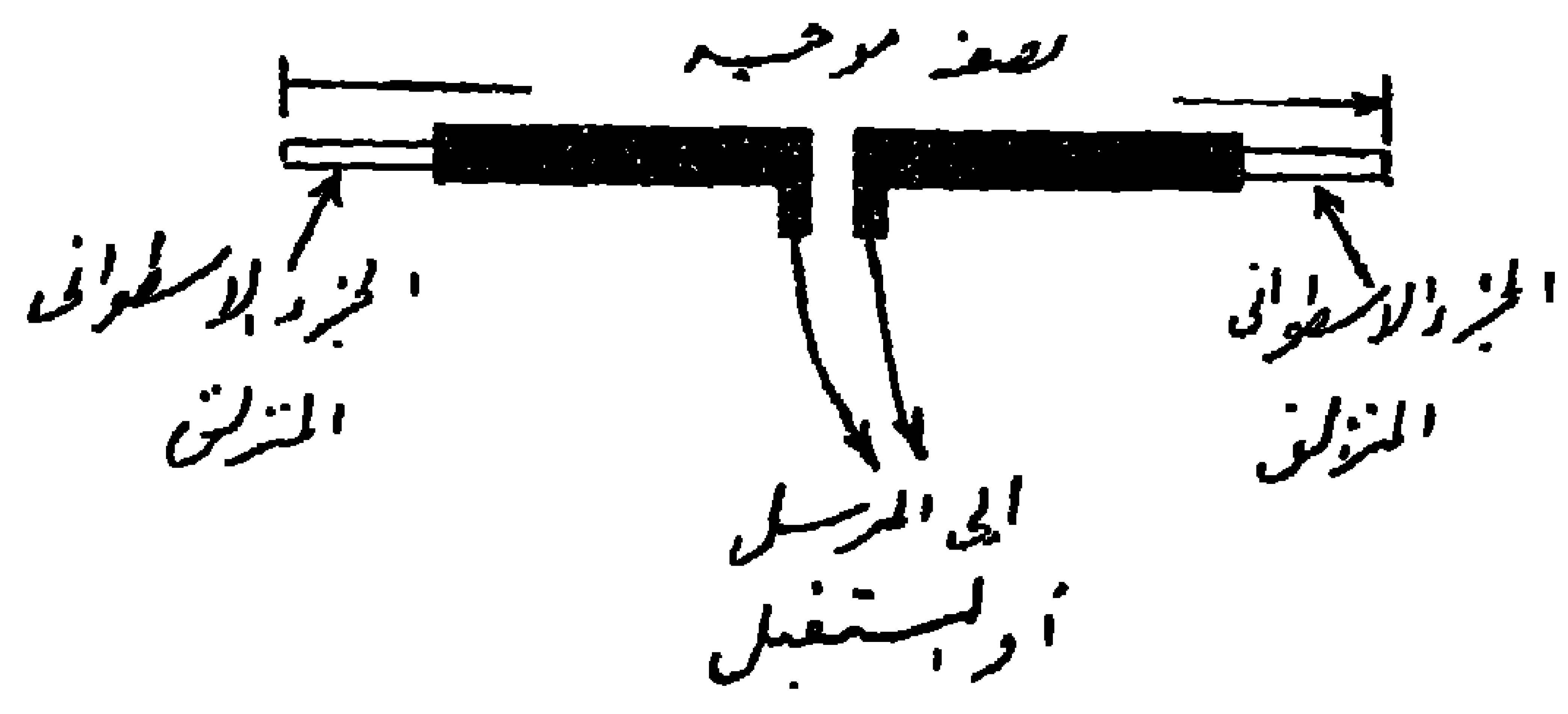
للدلالة على مسافات الاهداف مثلا . وطول الخط ا ب في الشكل (٤٢) يدل

على ان حدة النظر تبلغ اقصاها حين يكون الهدف امام العين تماما وتقل الحدة عندما ينحرف الغرض يميناً او يسارا ، ويتناسب هذا التناقص في حدة النظر مع اطوال الخطوط الجانبية في الرسم.

ويتوقف شكل الرسم القطبي الافقي على ما اذا كان الهوائي افقياً أو رأسياً . اما الرسومات القطبية الرأسية فهي تطابق شكلا الرسومات القطبية الافقية سواء للمرسل أو للمستقبل ولكنها تبين درجة الارسال أو الاستقبال في المستوى الرأسي الى الاهداف المرتفعة عن سطح الارض ومنها، وهذه الدرجة تختلف باختلاف ارتفاع الاهداف عن سطح الارض وتساعدنا هذه الخاصية في معرفة زاوية البصر لأي هدف . اما شكل الرسم القطبي الرأسي نفسه فيتوقف على ارتفاع الهوائي عن سطح الارض او البحر .

ولكن الهوائي الذي يركب على اسطح المنازل مثلا لاستقبال الاذاعات العادية ليست له خواص اتجاهية معينة فهو يستقبل جيداً تقريباً في جميع الاتجاهات والدليل على ذلك انك لا تلحظ تغييراً كبيراً في جودة الاستقبال ايا كان اتجاه محطة الاذاعة التي تستمع اليها ، وذلك لأن الهوائي يستقبل الاذاعة الصادرة من المحطات التي في الشرق أو في الغرب أو في الشمال أو في الجنوب بدرجة واحدة من الجودة طالما ان هذه المحطات متساوية تقريباً في قوة الارسال وتبعد مسافات متساوية على وجه التقريب من جهاز الاستقبال . ولهذا السبب يكون الرسم القطبي لمثل هذا الهوائي على شكل دائرة تقريباً مركزها الهوائي نفسه .

وتختلف الرسوم القطبية باختلاف انواع الهوائيات : ففي الرادار يستخدم نوع من الهوائيات يسمى هوائي نصف الموجة ثنائي الاقطاب Half wave length dipole وهذا النوع شائع الاستعمال في معظم اجهزة الرادار . ويسمى هوائي نصف الموجة لانه عبارة عن عامود طوله يساوي طول نصف الموجة المستخدمة ، فاذا كان طول الموجة خمسة امتار مثلا كان طول الهوائي حوالي ٢ ١/٢ متراً ويمكن اطالته أو تقصيره لضبط طوله على طول نصف الموجة بواسطة قطعتين اسطوانيتين مركبتين في طرفيه . اما لماذا سمي ثنائي الاقطاب فذلك لأن له قطبين واحد في كل طرف وفي الشكل (٤٤) رسم توضيحي لهذا الهوائي .

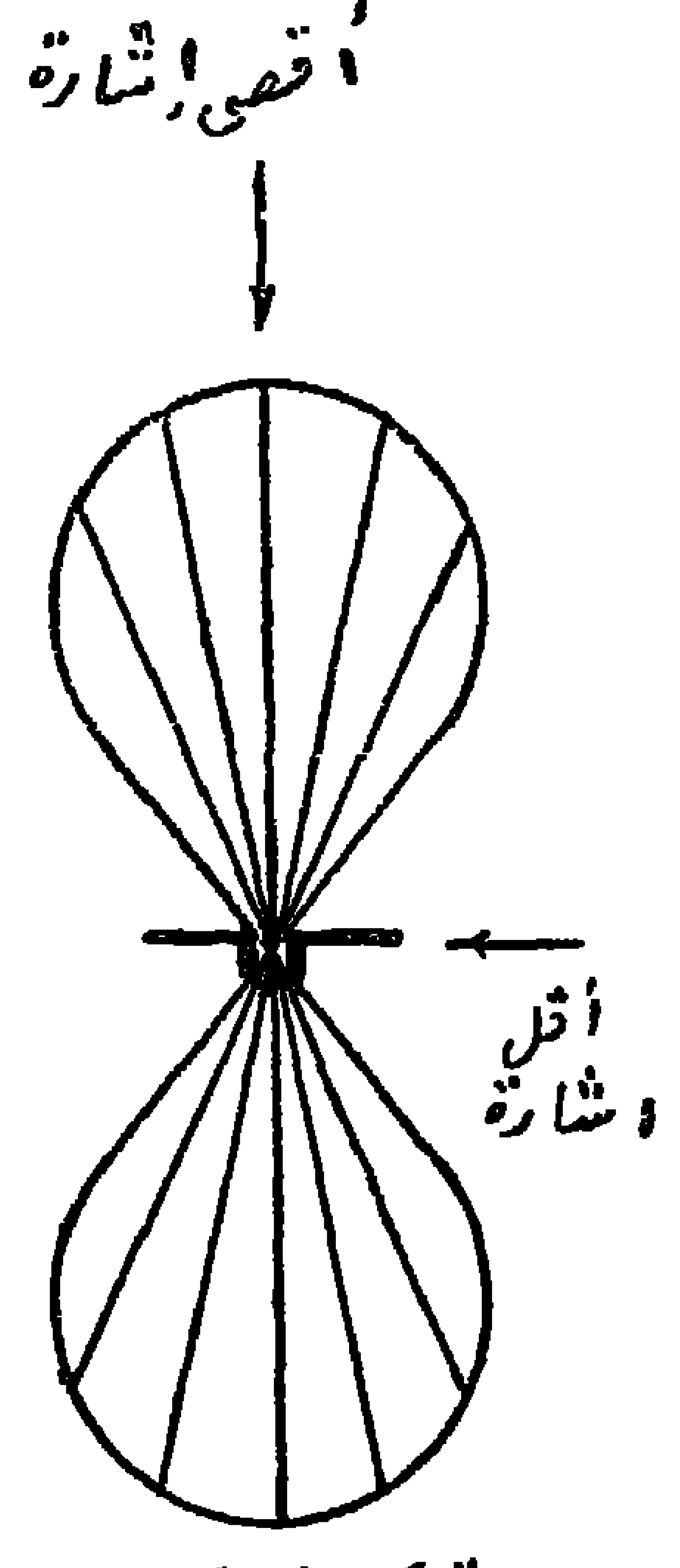


الشكل (٤٤) هوائي نصف الموجة ثنائي الاقطاب . ومن اسمه يتبين ان طوله يساوي طول نصف الموجة كما ان له قطبين أو طرفين .

واذا استخدم هذا الهوائي في وضع افقي وكان منفرداً لكان رسمه القطبي مطابق للرسم القطبي الخاص بجهاز اللاسلكي المتنقل الموضح في الشكل (٤٣) مع فرق واحد هو ان هوائي نصف الموجة يستقبل احسن ما يمكن حين يكون عموديا على الخط الواصل من محطة الارسال الى جهاز

الاستقبال ، وتصل درجة الاستقبال بواسطته الى الصفر تقريباً حين يكون في خط واحد مع محطة الارسـال . والشكل (٤٥) يبين الرسم القطبي لهوائي ثنائي الاقطاب •

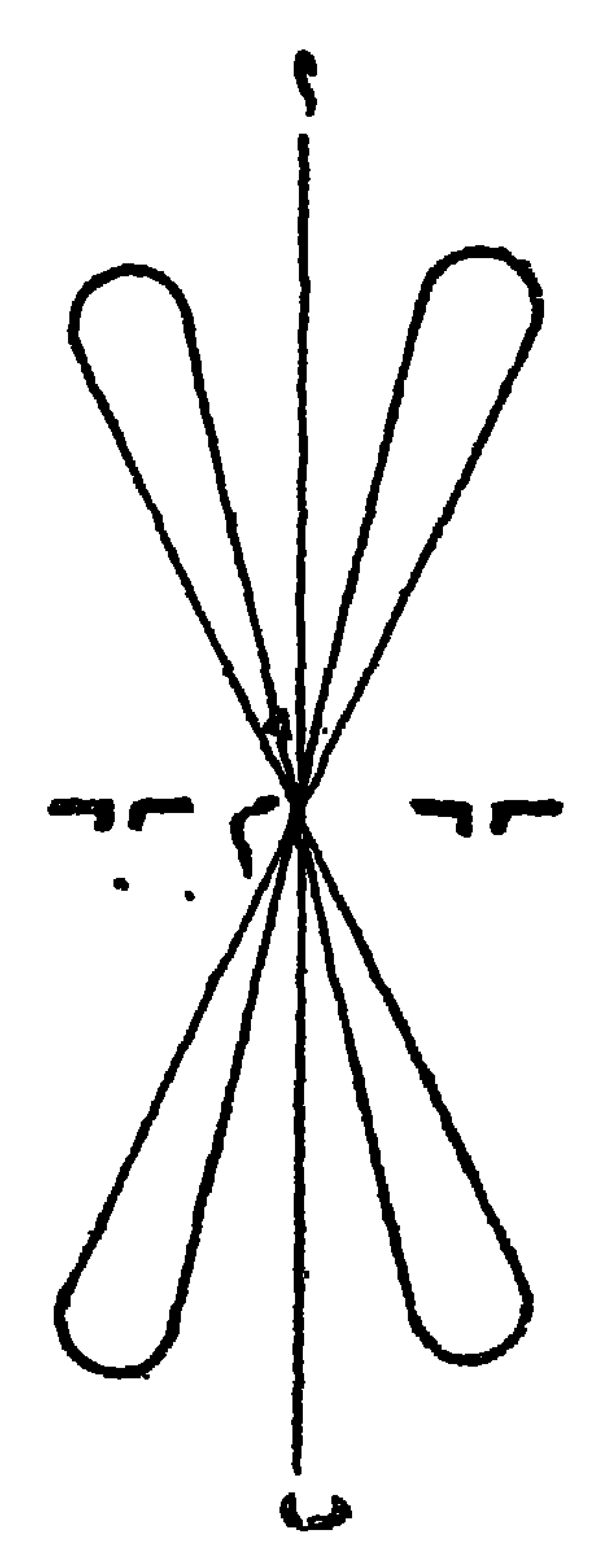
ويمكن استخدام هوائيات نصف الموجة في مجموعة تتكون من هوائيين او اكثر وتسمى منظمة aerial array بتشديد الظاء وفتحها وتكون الرسومات القطبية لهذه المنظمات مختلفة في اشكالها باختلاف نوع المنظمة • فالمنظمة التي تتكون من هوائيين من هوائيات نصف الموجة لها رسم قطبي كالموجود في الشكل (٤٦) ومنه يتضح ان نقطة اقل استقبال هي التي يشير اليها الخطان م ا ، م ب فاذا أديرت المنظمة يميناً أو يساراً مقداراً بسيطاً يحدث اختلاف ملحوظ في قوة الاستقبال •



الشكل (٤٥)
الرسم القطبي لهوائي نصف الموجة ثنائي الاقطاب .

هوائيات القطع المكافىء Paraboloids : ثمة نوع جديد من الهوائيات يستخدم في احدث اجهزة الرادار وهي عبارة عن قطع مكافىء دوراني يشبه العدسة المقعرة ومن مركزه تخرج الدفعات المرسلة الى الاهداف والى نفس هذا المركز تصل الاصداء اللاسلكية • ويساعد شكل هذا

النوع من الهوائيات على ان يعمل كعدسة لتجميع الاشعاع الصادر في شعاع ضيق ، وهو يستخدم في اجهزة الرادار التي تعمل على موجات اقل من ١٠ سم طولا .



الشكل (٤٦)
الرسم القطبي لمنظمة تتكون من هوائيين من هوائيات نصف الموجة موصلة بطريقة خاصة.

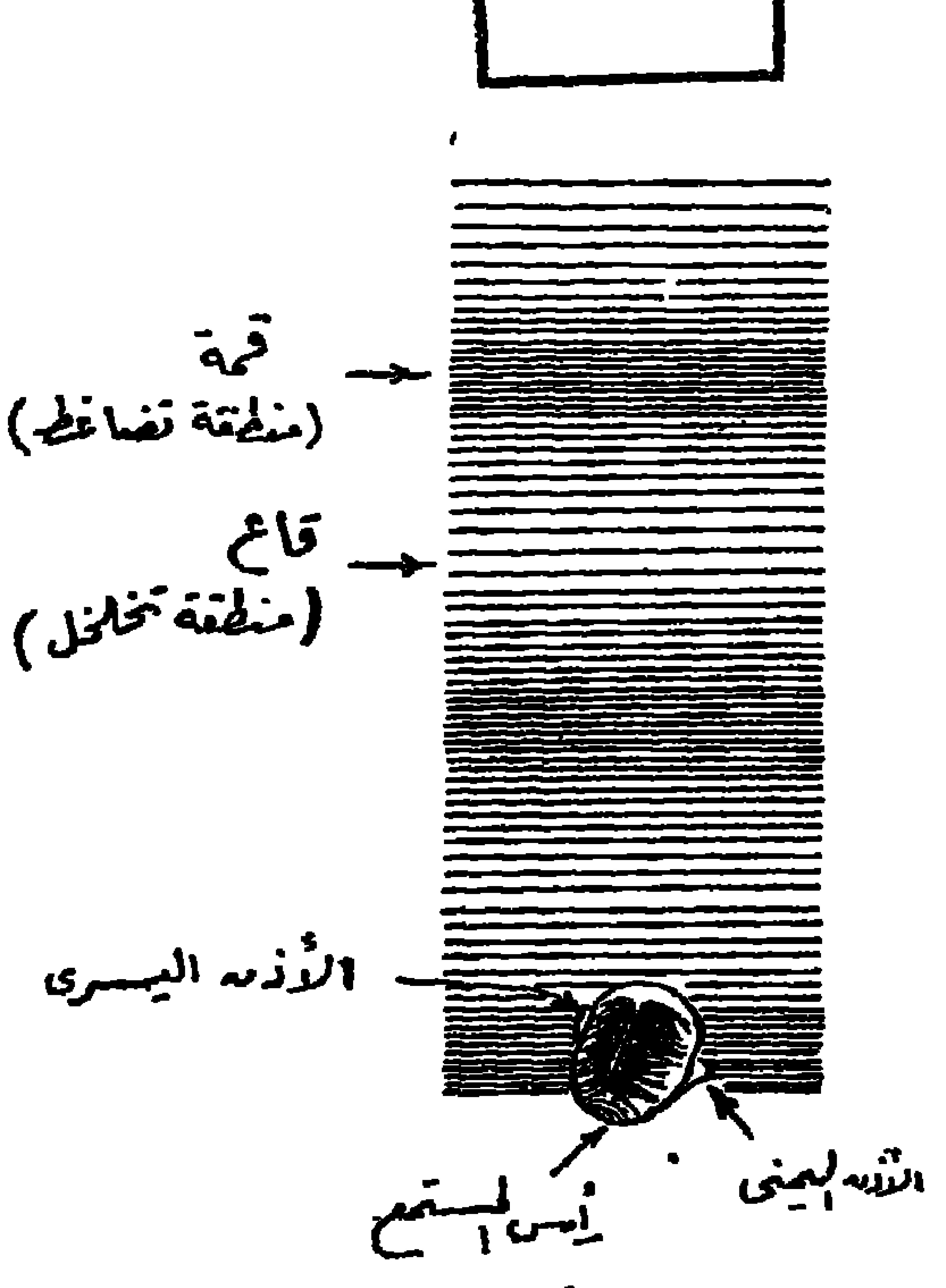
الفصل العاشر

كيف يقيس الرادار اتجاهات الأهداف

ان استخدام منظمة من هوائيين في جهاز الرادار لمعرفة اتجاه هدف ليشبه الى حد كبير تعاون العين والاذن في تأدية وظائفهما • ومما يسهل توضيح الطريقة الاولى ايراد شرح للكيفية التي يتم بها هذا التعاون . هل فكرت ابدا في السبب الذي يدعوك الى الالتفات بسرعة الى الناحية التي يصدر منها اي صوت خلفك ؟ ان الداعي الى هذا الالتفات قد يكون غريزة قديمة متأصلة ورثناها عن اسلافنا الذين كانوا يعيشون في غابر العهود فان الشعور بالخطر والخوف من مفاجأة الحيوانات المتوحشة كان يوحي الى هؤلاء الاسلاف ان يكونوا في منتهى الحذر واليقظة ، فتعودوا اكتشاف مصادر الأصوات بسرعة مهما كانت خافتة والاتجاه بابصارهم اليها • والاذن حين تستقبل الصوت المثير تنقله في الحال الى المخ وهو الذي يدل العين على الاتجاه الذي تنظر اليه • ولكن كيف تتمكن رسالة الاذن الى المخ من توضيح الاتجاه الصحيح الذي يجب ان تنظر العين اليه ؟ الواقع ان المخ هو الذي يصدر اوامره الى الاذنين حين تسمع الصوت كي تنذر الرأس لتتحرك الى افضل وضع تستطيع الاذن فيه سماع الصوت

بمنتهى الوضوح . فانت حين تسمع صوتاً تحرك رأسك حركات لاشعورية يميناً ويساراً بارشاد الاذن حتى يتضح الصوت تماما . وفي هذه اللحظة ترسل الاذنان اشارة الى المخ كي يأمر الرأس بالثبات وعدم الحركة وبما ان العينين تكونان جزءاً من الرأس فانهما تنظران في الاتجاه الذي ثبتت عليه الرأس .

والشكل(٤٧)يساعد كثيراً في توضيح المساعدة التي تقدمها الاذنان الى الرأس لارشادها الى الاتجاه الذي يجب ان تتجه اليه وهو الاتجاه الصادر منه الصوت . ففيه نرى سلسلة من الموجات الصوتية قادمة من مصدر الصوت الى المستمع الذي ادار رأسه قليلا فاصبح غير مواجه لمصدر الصوت تماما وبذلك اصبحت المسافة



الشكل(٤٧) ترى الرأس في هذا الشكل وهي منحرفة قليلا لجهة اليمين وليست مواجهة تماماً لمصدر الصوت مما سبب وصول قمة الموجة الصوتية القادمة الى الاذن اليمنى بعد وصولها الى الاذن اليسرى بفترة ما وفي نفس اللحظة التي يقترب فيها قاع هذه الموجة من الاذن اليسرى

من مصدر الصوت الى الاذن اليمنى اطول من المسافة الى الاذن اليسرى والموجات الصوتية كما عرفنا تتكون من مناطق تضاغط ومناطق تخلخل او من قمم وقاعات . ففي الشكل نرى ان قمة الموجة الصوتية القائدة قد وصلت الى الاذن اليمنى في نفس اللحظة التي قارب فيها قاع هذه الموجة نفسها ان يصل الى الاذن اليسرى ، اي ان الاذن اليسرى اقرب الى مصدر الصوت من الاذن اليمنى بنصف موجة .

ونظراً لان طبلة الاذن تندفع للداخل بتأثير منطقة التضاغط (اي القمة في الموجة الصوتية) ثم ترتد للخارج بتأثير منطقة التخلخل او القاع فان ذلك يعني انه بينما تكون طبلة اذن المستمع اليمنى مندفعة الى الداخل تبدأ طبلة اذنه اليسرى في الارتداد الى الخارج اي انه ليس هناك تناسق في استقبال الموجات الصوتية من الاذنين ولذلك يبدو الصوت غير واضح الامر الذي يدعو المستمع الى تحريك رأسه ليواجه مصدر الصوت بالضبط حتى تصبح الاذنان على مسافة واحدة من مصدر الصوت فتصل الموجات اليهما في وقت واحد دائما . ويُعبّر فنياً عن الموجات التي تصل الى مصبين في وقت واحد وبتناسق اي بحيث تصل القمة مع القمة والقاع مع القاع بانها موجات متطابقة In phase اما الموجات غير المتطابقة فيقال لها متغايرة Out of phase فحين تصل موجات متغايرة الى الاذنين يكتشف المخ هذه الحقيقة ، ونظراً لان السبب في وصولها متغايرة هو ان الرأس لا تكون مواجهة لمصدر الصوت تماما ، فان المخ يصدر اوامره اليها بالتحرك حتى تصبح الاذنان على بعد واحد

من مصدر الصوت ، وبذلك تصل الموجات الصوتية اليهما متطابقة فتثبت الرأس في الاتجاه الجديد ويتبع ذلك اتجاه العينين الى مصدر الصوت .

مماسبق يتضح ان التشابه عظيم بين تعاون العين والاذن وبين عمل منظمة من هوائيين ثنائي الاقطاب طول كل منهما نصف موجة مركبين افقياً على امتداد بعضهما وتفصل بينهما مسافة قصيرة . فحين يتم التوجيه الدقيق لجهاز الرادار الذي يستخدم مثل هذه المنظمة على هدف ما يكون بُعد هذا الهدف عن كلا الهوائيين واحد ولذلك تصل الموجات اللاسلكية المرتدة كصدى من الهدف متطابقة الى المنظمة في مستقبل الرادار . اما اذا لم تكن المنظمة موجهة توجيها صحيحاً على الهدف اي تكون منحرفة عنه يميناً او يساراً قليلا فان واحداً من الهوائيين يصبح بعيداً عن الهدف اكثر من الآخر فتصل الموجات متغايرة الى المنظمة ، وكلما زاد انحرافها عن الهدف زاد مقدار تغاير الموجات المستقبلة . والجزء الذي يقابل المخ في جهاز الرادار في هذه الحالة هو انبوبة شعاع المهبط اذ تظهر عليها علامة واضحة الدلالة ترشد العامل الى الاتجاه الذي يجب ان يدير اليه المنظمة حتى تصبح موجهة بالضبط على الهدف ، وبالتالي حتى تصبح الموجات متطابقة فى وصولها . وفي بعض الاجهزة يوصل الهوائيان في المنظمة بطريقة خاصة بحيث تكون الدلالة على التوجيه الصحيح على الهدف هي عدم ظهور اي اشارة على انبوبة شعاع المهبط وذلك بان يوصل الهوائيان كهربائياً بحيث يؤثر وصول صدى الدفعة من الهدف في احدهما تأثيراً

مضاداً لتأثيره في الآخر بدل ان تجمع التأثيران، فيلغي احدهما الآخر وبذلك لايظهر اي أثر للاشارة الواردة وتسمى هذه الطريقة طريقة ادنى اشارة. والرسم القطبي للمنظمة في مثل هذه الحالة هو الرسم الوارد في الشكل (٤٦) في الفصل السابق. فنحن اذا نجحنا في ان نجعل الموجات تصل من المنظمة الى المستقبل من احد الهوائيين في نفس اللحظة التي يصل فيها قاع من الهوائي الآخر لضمننا ان تلغى القمم القاعات حين يكون المستقبل موجهاً بالضبط على الهدف وبذلك لا تظهر اية اشارة واردة من هوائيات الاتجاه.

ولكن هناك ثغرة في الطرق السابقة لايجاد الاتجاه بواسطة الرادار فبإلقاء نظرة على الرسم القطبي لمنظمة الهوائيين الموجود في الشكل(٤٦) يتضح ان درجات الاستقبال من هدف موجود امام المنظمة تماثل درجات الاستقبال من خلف المنظمة، اي انه في الامكان تحديد الاتجاه الصحيح لهدف ما ولكن دون ان نعرف اذا كان هذا الهدف خلف الرادار او امامه. اذن فلا بد من ايجاد وسيلة لتبديد هذا اللبس. ولحسن الحظ اكتشفت وسيلتان للتأكد باتباع واحدة منهما مما اذا كان الهدف خلف الرادار او امامه.

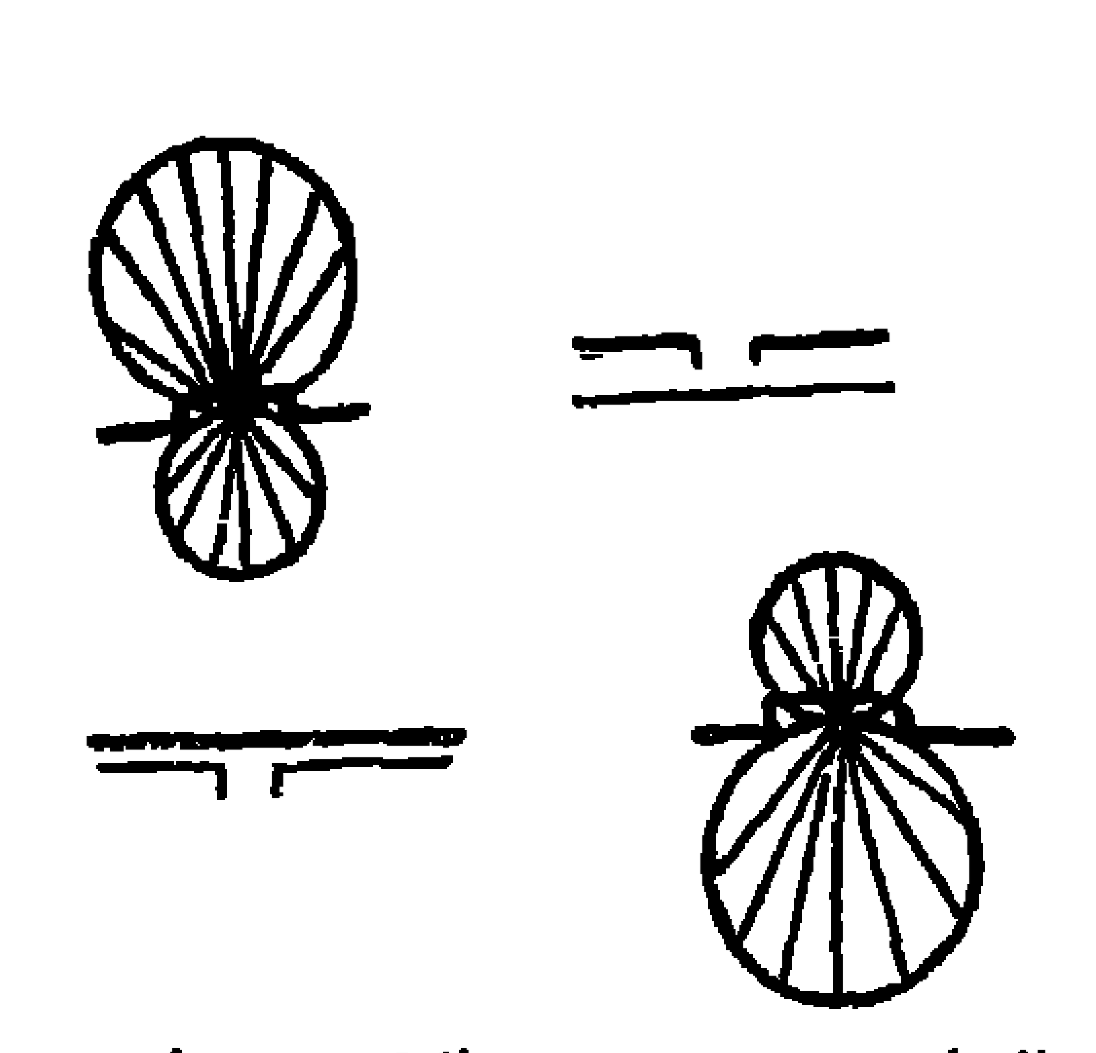
ولا تتبع هاتان الطريقتان الا اذا كانت هوائيات الجهاز من نوع هوائيات نصف الموجة، إذ أنه في حالة الاجهزة الحديثة التي تستخدم هوائيات القطع المكافىء الدوراني لا تصل اصداء لاسلكية من الهدف الا اذا كان امام الجهاز. وفي كلتا الطريقتين يستخدم احد هوائيات نصف

الموجة منفرداً إما اضافياً او من تلك التي تكون مركبة على الجهاز . ومثل هذا الهوائي يستقبل احسن ما يمكن حين يكون عموديا على الخط الواصل من الهدف الى المستقبل .

ففي الطريقة الاولى يوضع عمود من معدن خاص وطوله مساوتقريباً لطول هوائي نصف الموجة خلف هذا الهوائي بمسافة معينة . وهذا العمود يسمى العاكس Reflector ووظيفته ان يعكس الاشعاع الذي يمثله النصف الخلفي للرسم القطبي للامام فيكبر النصف الامامي ويصغر النصف الخلفي، أي ان الكسرة التي تظهر على انبوبة شعاع المهبط من هدف امام الرادار تكون اكبر بكثير من تلك التي يسببها هدف خلف الرادار . وهناك مفتاح صغير بالجهاز يمكن باستخدامه توصيل العاكس كي يؤدي عمله او قطع الاتصال فلا يعمل . فحين يوجه الرادار على هدف توجيهاً دقيقاً ، يفتح هذا المفتاح فاذا كبرت الكسرة عرفنا ان الهدف امام الجهاز اما اذا تضاءلت فمعنى ذلك ان الهدف خلفه تماماً فيحرك المستقبل نصف دورة كاملة اي ١٨٠ درجة كي يصبح الرادار على الاتجاه الصحيح .

والطريقة الثانية عكس الطريقة الاولى بالضبط . فبدلا من وضع العاكس خلف الهوائي ، يوضع امامه فيحدث عكس ما ينتج من الطريقة السابقة . وتسمى هذه العملية عملية « اختبار الحاسة Sense Test » فاما ان تكون الحاسة صحيحة وذلك حين يكون الهدف امام الرادار او خاطئة وذلك حين يكون الهدف خلفه .

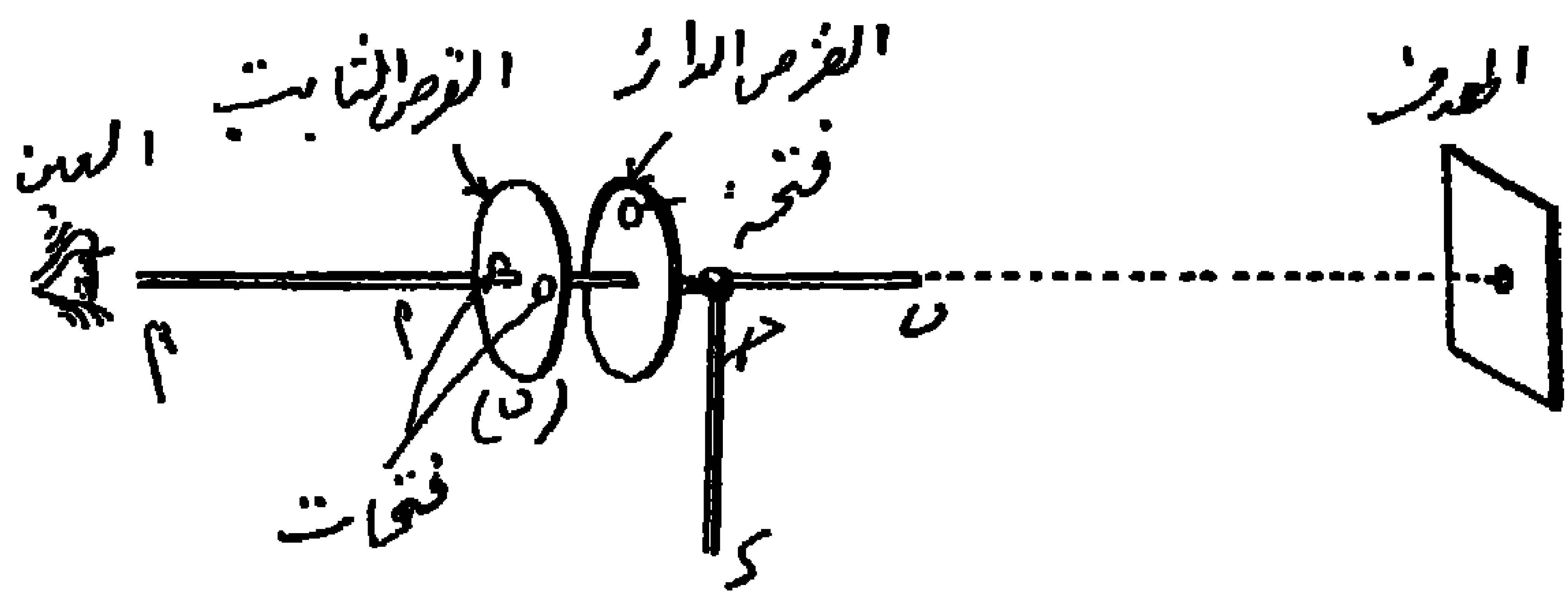
والشكل ٤٨ (ا) يبين الهوائي والعاكس خلفه والرسم القطبي . كما يبين الشكل ٤٨ (ب) الهوائي والعاكس امامه والرسم القطبي في هذه الحالة . وهنا يتدخل عامل السرية مرة أخرى فيمنع الدخول في تفاصيل الكيفية التي يتم بها ايجاد الاتجاه بمنتهى الدقة بواسطة منظمة الهوائيين ، ولكن يمكن القول ان الجندي الذي يعمل على الجهاز يستطيع ان يوجهه على هدف لم يره او يعلم بوجوده قطعيا وان يعرف الاتجاه الدقيق لمثل هذا الهدف بالنسبة للشمال الحقيقي . ويمكن ان اضيف الى ذلك ان النظرية الاساسية لاحدى طرق معرفة اتجاه هدف بواسطة الرادار بمنظمة الهوائيين هي ان يحرك مستقبل الرادار حتى تصبح هوائيات الاتجاه عمودية على الخط الواصل من الهدف الى المستقبل ، وفي هذا الوضع



الشكل (٤٨) يبين الطريقتين اللتين تتبعان لتحديد ما اذا كان الهدف امام الرادار أو خلفه . ففي ا (الشكل العلوي) وضع العاكس خلف الهوائي وفي ب (الشكل السفلي) العكس . والغرض من ذلك مبين في الشرح .

لا تصل الى المستقبل أي اشارات من الهدف . ومن شاشة انبوبة شعاع المهبط الخاصة بالاتجاه يمكن الاستدلال على ذلك بوضوح ، فاذا انحرفت الهوائيات يميناً أو يساراً احس المستقبل بذلك . كما تظهر لعامل الاتجاه على شاشة انبوبة شعاع المهبط من الدلائل ما يرشده الى الاتجاه الذي عليه ان يدير فيه الهوائيات حتى يصبح الرادار على الهدف تماما . وهناك طريقة

لقياس الاتجاه بواسطة الصدى اللاسلكي المرتد من هدف الى المستقبل في شرحها فائدة كبيرة، والنظرية المبنية عليها هذه الطريقة تشابه النظرية التي تؤدي بها العين وظيفتها ولقد رأيت ان اورد تجربة بسيطة في شرحها ما يسهل تفهم هذه الطريقة. وعلينا ان نذكر دائماً ان الهوائيات ما هي إلا اعين لاسلكية تبحث عن الاهداف.

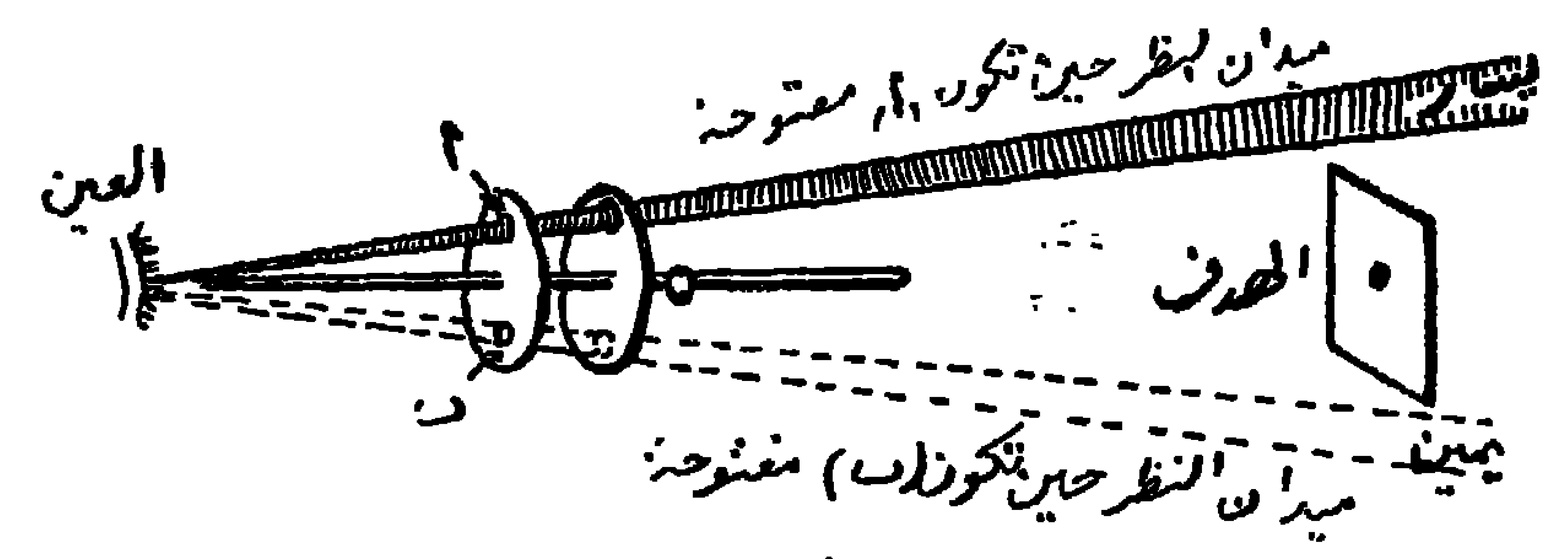


الشكل (٤٩) ا ب عمود مثبت على محور عند ﺣ على قائم رأسي ﺣ د وعلى هذا العمود ركب قرص ثابت به فتحتان احداهما عند الساعة ٩ والاخرى عند الساعة ٣ . كما ركب امام هذا القرص قرص آخر قابل للدوران به فتحة واحدة . فاذا دار القرص القابل للحركة تفتح الفتحتان الموجودتان على القرص الثابت بالتبادل .

ففي الشكل (٤٩) ا ب عمود افقي مثبت على محور رأسي ﺣ د، وركب على ا ب قرصان احدهما ثابت وبه ثقبان متقابلان. فاذا شبهنا هذا القرص بقرص الساعة فان احد هذين الثقبين يكون عند الساعة ٩ والآخر عند الساعة ٣ . اما القرص الثاني فيدور بسرعة وبه فتحة واحدة تتطابق مع كلا الفتحتين الموجودتين بالقرص الثابت بالتبادل مرة في كل دورة كاملة فاذا كان هناك شخص ينظر عند النقطة ا فان هذا الشخص يرى الفتحتين

اللتين بالقرص الثابت تفتحان وتقفلان بالتبادل وباستمرار .

وبالنظر الى الشكل (٥٠) يتبين انه حين تفتح ا بواسطة القرص الدائر يصبح ميدان النظر منحرفاً الى يسار الهدف فاذا فتحت ب اصبح ميدان النظر يمين الهدف . والآن هل في إمكان الشخص الناظر عند ا أن يوجه



الشكل (٥٠) بالنظر الى الجهاز من أعلا تتبين ان ميدان النظر يتحول الى يمين الهدف حين تنطبق فتحة القرص الدائر على الفتحة ب كما يتحول ميدان النظر الى يسار الهدف حيث تنطبق فتحة القرص الدائر مع الفتحة ا .

العمود ا ب الى مركز الهدف بالضبط مستعينا بالنتيجة السابقة ؟ بالطبع هذا في الامكان كما يدلنا الشكل (٥٠)، فان دوران القرص المتحرك بسرعة كبيرة لن يعطى العين فرصة لتتبين ان الفتحتين تغلقان وتفتحان بالتبادل بل تظهران وكأنهما مفتوحتان باستمرار والنتيجة ان يصبح ميدان النظر خلالهما مستمراً غير متقطع . والحقيقة ان هناك ميداني نظر تبادليين احدهما يمين الهدف والآخر يساره . وطالما ان العمود ا ب مسدد الى مركز الهدف فان هذا المركز لن يقع في احد ميداني النظر وبذلك يبقى غير مرئي من الشخص الناظر عند النقطة ا . فاذا تحرك العمود ا ب يمين الهدف او يساره ظهر الهدف في احد ميداني النظر وامكنت رؤيته خلال الثقب ا

أو الثقب ب تبعاً للناحية التي تحرك اليها العمود ، وبذلك تكتشف العين الخطأ ويحرك العمود حتى يختفي الهدف من الثقبين أي يصبح واقعا بين ميداني النظر . ويبقى الهدف غير منظور طالما ان العمود مسدد الى مركزه حتى لو تحرك هذا الهدف للامام وللخلف في المستوى الافقي .

فلو تصورنا ان الفتحتين الموجودتين في القرص الثابت تمثلان هوائياً نصف موجة في جهاز مستقبل الرادار فان هذين الهوائيين يستقبلان الاشارات الواردة من الهدف بالتبادل وبفواصل زمنية محدودة . فاذا كان الهدف بين « ميداني النظر » لهذين الهوائيين فان الاصداء اللاسلكية الواردة منه لن تستقبل بواسطتهما او تستقبل بدرجات متساوية من كليهما . فاذا انحرف يميناً او يساراً اختلفت درجة الاستقبال مما يدل على الخطأ في التوجيه . وتذكرنا هذه الطريقة بالرجل الاحول الذي لا يستطيع ان ينظر امامه ابداً .

فكرة عامة عن طريقة قياس زاوية البصر : لا اظن انه من الصعب ان تتخيل الجهاز المبين في الشكل (٥٠) وقد غير موضع الفتحتين الموجودتين في قرصه الثابت لتكونا عند الساعة ٦ والساعة ١٢ كما جهز العمود ا ب ليتحرك في المستوى الرأسي . فاذا وجه العمود الآن على هدف مرتفع قليلا عن سطح الارض بحيث كان مسدداً الى مركز الهدف لما امكن للناظر عند ا أن يرى هذا الهدف ، وذلك لانه يقع بين ميداني النظر المنحرفين بالتبادل اعلاه واسفله . فاذا اختل توجيه العمود بحيث اصبح

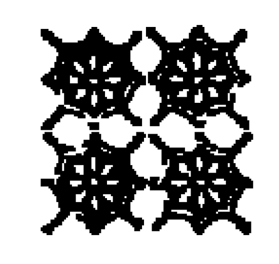
مشيراً الى اسفل الهدف او الى اعلاه ظهر الهدف من الفتحة العليا او الفتحة السفلى حسب الحالة .

وهناك طريقة من طرق قياس زاوية البصر بواسطة الرادار تشابه التجربة السابقة . وهي تتلخص في تشغيل زوج من هوائيات نصف الموجة تشغيلا تبادلياً وبحيث يكون ميدانا النظر لهذين الهوائيين اعلا واسفل الهدف على التوالي : فاذا كان الهدف واقعا بين ميداني النظر تماما تكون درجات الاستقبال واحدة من كلا الهوائيين، وإلا اختلفت درجات الاستقبال مما يدل على الخطأ في القياس .

وفي طريقة أخرى تستخدم هوائيات متحركة تدور بسرعة وبحيث تكون ميادين النظر الخاصة بها حول الهدف وليست عليه. مما سبق اعتقد أن القارىء قد كون فكرة عن بعض طرق قياس الاتجاه وزاوية البصر بواسطة الرادار . وهذه الطرق كما ولابد قد لاحظتم تشبه الى حد كبير الطرق التي يستدل بها المخ على الاتجاهات الرأسية والافقية لغرض ما بواسطة العيون والآذان .

والواقع ان معظم الاختراعات الكهربائية واللاسلكية ليست إلا محاولات ناجحة لتقليد اعضاء الجسم البشري في تأدية وظائفها . فما مكبر الصوت الكهربائي الا صورة كهربائية للاذن البشرية . كما ان المستقبل في التليفون يعمل بطريقة مبنية على النظريه التي تنتج بها الاوتار الصوتية الصوت .

وجهاز الرادار يمدنا بمعلومات طازجة ومستمرة عن اتجاهات وزوايا بصر الاهداف السريعة الحركة كالطائرات فضلا عن مسافاتها . وتنقل هذه المعلومات الى المدافع والى البريدكتور والى غرف العمليات حتى يمكن تعيين خطوط سير الطائرات المعادية غير المنظورة والاشتباك معها بنجاح تام .



الفصل الحادي عشر

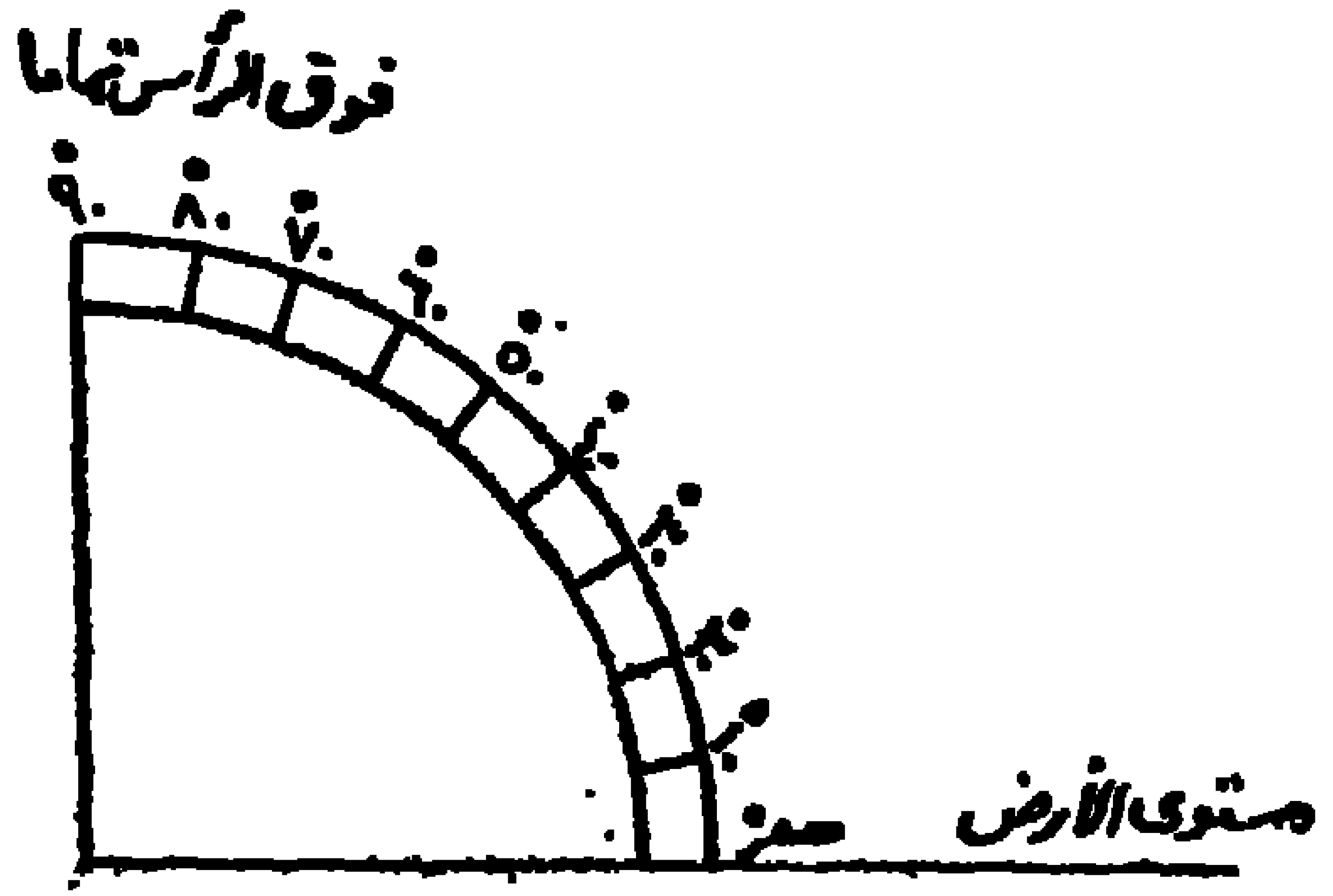
مقاييس الرادار

من الفصول السابقة عرفنا كيف تقاس المسافة والاتّجاه وزاوية البصر بواسطة الرادار مستعينين بالرسوم القطبية لهوائيات الاتّجاه وزاوية البصر في القياس. وهذه الرسوم القطبية التخيلية التي تبين درجات الارسال او الاستقبال للهوائيات تقع في مستويين : احدهما رأسي والآخر افقي . وبعمل مقاييس خاصة يمكن قراءة اتجاه الاهداف على تداريجها بالنسبة الى الشمال الحقيقي في المستوى الافقي . كما يمكن قراءة زوايا هذه الاهداف اذا كانت مرتفعة عن سطح الارض (كالطائرة اثناء طيرانها) على مقاييس اخرى من هذا النوع .

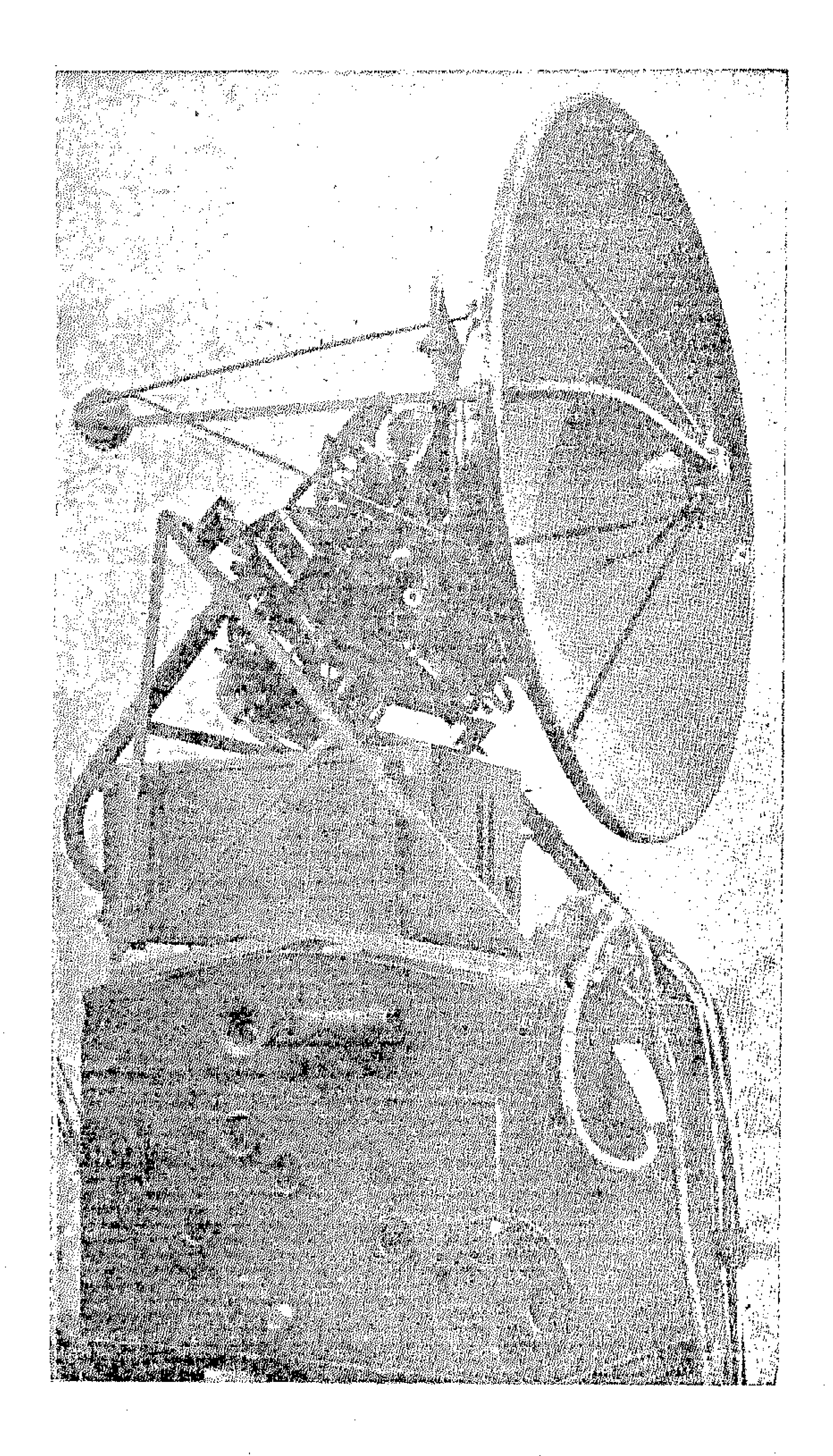
الشكل (٥١) تقاس الاتجاهات من صفر الى ٣٦٠ درجة (الشمال) في اتجاه عقرب الساعة حول المقياس الدائري. فاذا كان الهدف في الشرق تماما يكون اتجاهه ٩٠ درجة او في الجنوب يكون اتجاهه ١٨٠ درجة وهكذا .

والشكل (٥١) يبين صورة مبسطة لمقياس الاتجاه . ولتجهيز الرادار كي يصبح قادراً على الاشتباك بدقة مع اهدافه نجري له ما يسمى عملية التوجيه وهذه العملية تتلخص في ضبط الجهاز حتى نقرأ صفرا أو ٣٦٠ درجة على مقياس الاتجاه حين تكون الهوائيات متجهة الى الشمال بالضبط في المستوى الافقي . وللدقة يدرّج المقياس من صفر الى ٣٦٠ درجة بدلا من ان تبين عليه الاتجاهات الاصلية والفرعية فقط اذ ان ذلك يعصم الجنود الذين يعملون عليه اثناء المعركة من الخطأ . فمن السهل ان يخلط الانسان فيقرأ الشرق بدل الغرب ولكن ليس سهلا ان يخلط بين ٩٠ درجة ، ٢٧٠ درجة مثلا .

وفي الشكل (٥٢) صورة مبسطة لمقياس زاوية البصر بجهاز مستقبل الرادار فحين تكون هوائيات زاوية البصر موجهة في المستوى الرأسي على مستوى سطح الارض او سطح الماء نقرأ على المقياس صفر درجة . اما اذا كانت موجهة على هدف طائر فوق الجهاز مباشرة نقرأ على المقياس ٩٠ درجة . ومن الواضح اننا لا نحتاج الى قياس زاوية البصر حين نستخدم الرادار ضد الاهداف التي على سطح البحر او على سطح الارض مباشرة فزاوية البصر لمثل هذه الأهداف هي



الشكل (٥٢) مقياس زوايا البصر وعليه تقاس الزوايا من صفر درجة على مستوى سطح الارض الى ٩٠ درجة فوق الرأس مباشرة .



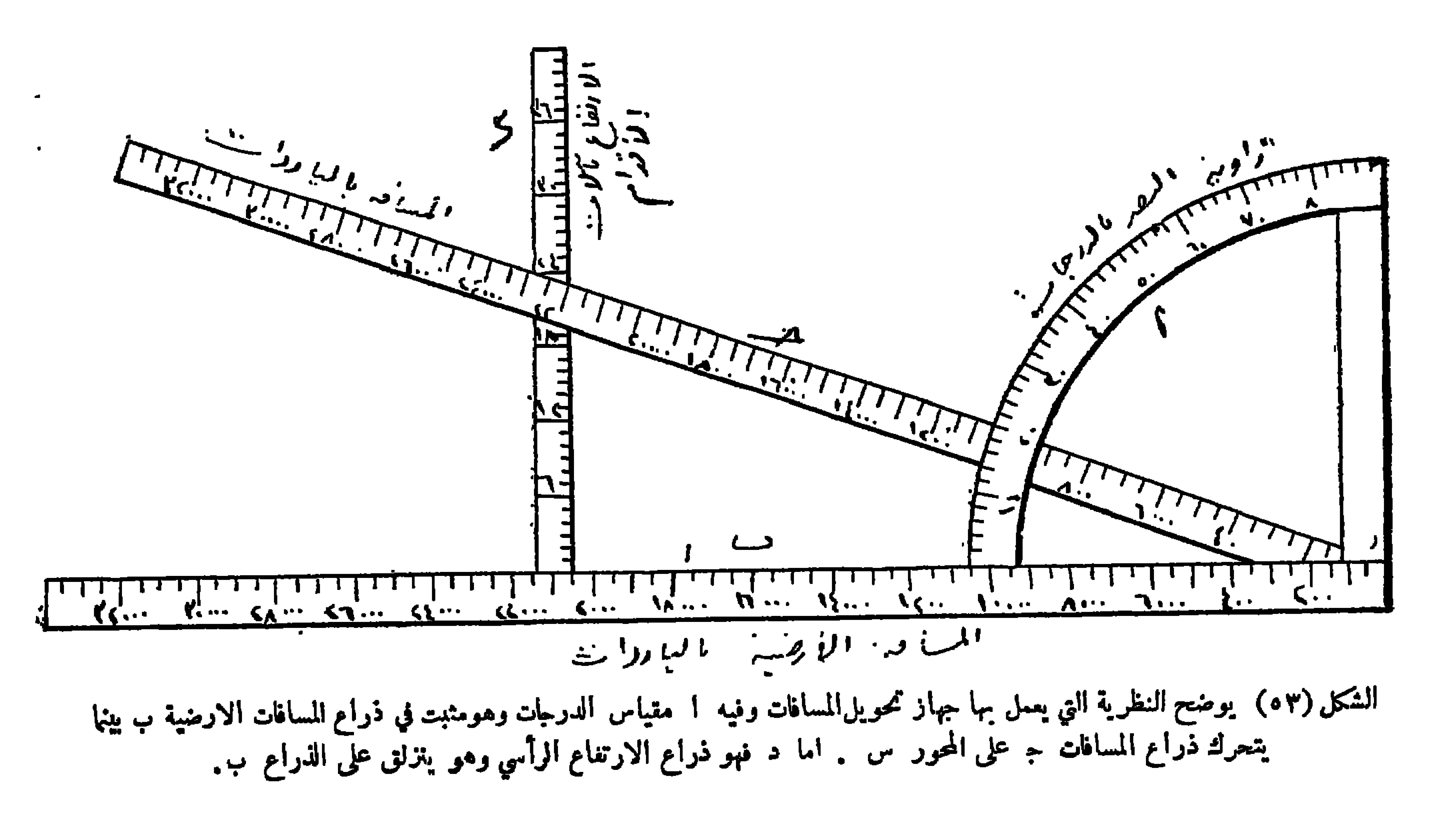
«كيوبيد» وهو جهاز رادار صغير يركب مباشرة على جهاز البريدكتور
الذي سبق لنا ذكره . ولكيوبيد القدرة على اكتشاف
وتتبع القنابل الطائرة التي تسري بسرعة ضخمة
وعلى ارتفاعات منخفضة

صفر باستمرار . ولقد تبين لنا قبل الآن ضرورة قياس زوايا الطائرات بدقة كبيرة الا اذا كان الرادار يؤدي وظيفة الانذار المبكر فقط حيث لا نحتاج الى كل هذه الدقة .

ومن الضروري ، على المسافات المتوسطة والقصيرة ، تعيين مواقع الاهداف من لحظة الى اخرى على خريطة دقيقة . وعلى الخرائط لا يستخدم في القياس الا الطول والعرض أي الاتجاه والمسافة واما الارتفاع فلا ، نظراً لان الخرائط مسطحة . الا أن تعيين محل هدف يطير فوق سطح الارض او البحر يستدعي معرفة ارتفاع هذا الهدف وبدونه لا يمكن تعيين محله . وبذلك أصبح علينا أن نعمل على الخريطة بثلاثة مقاييس : اتجاه ومسافة وارتفاع . والرادار كما عرفنا يقيس مسافة الطائرة ، ولامكان تعيين محل مثل هذه الطائرة على خريطة يجب ان نعرف مسافتها الارضية . اذن فلا بد من طريقة نحوّل بها زاوية الهدف ومسافته الى مسافة أرضية .

والشكل (٥٣) يبين المقياس المستخدم لتحويل المسافة وزاوية البصر تحويلا أوتوماتيكياً الى مسافة ارضية لينتفع بها على الخريطة المسطحة . وجميع اجزاء هذا الجهاز مدرجة بمقياس رسم واحد (بوصة واحدة لكل ١٠٠٠ ياردة مثلا) اما ذراع الارتفاع فمدرج بالاقدام (بوصة واحدة لكل ٣٠٠٠ قدم مثلا) نظراً لان الارتفاعات تقاس دائماً بالاقدام .

والآن لنفرض ان جهاز الرادار التقط هدفاً مسافته ٢٢٠٠٠ ياردة



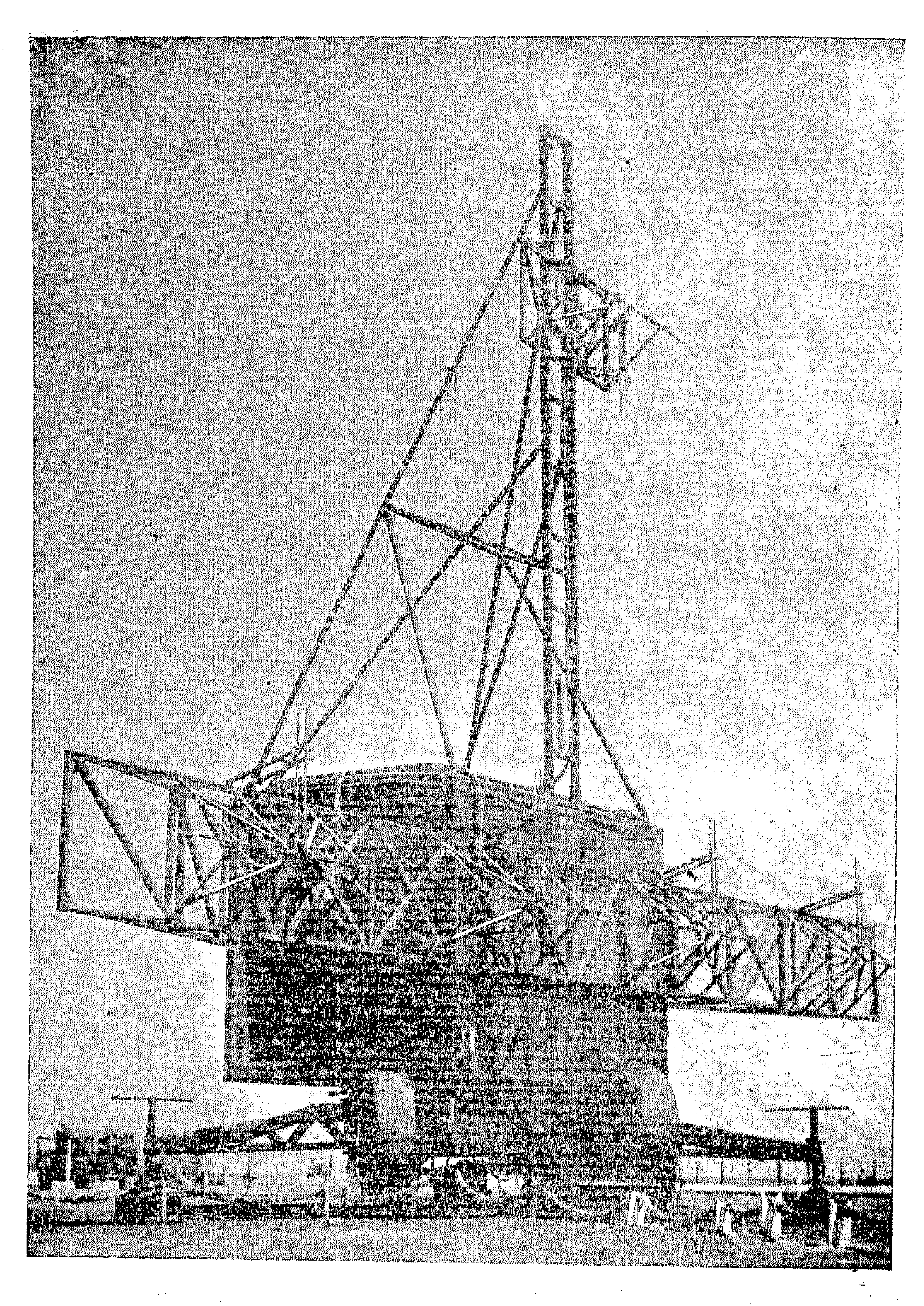
الشكل (٥٣) يوضح النظرية التي يعمل بها جهاز تحويل المسافات وفيه أ مقياس الدرجات وهو مثبت في ذراع المسافات الارضية ب بينما يتحرك ذراع المسافات ج على المحور س . اما د فهو ذراع الارتفاع الرأسي وهو يتزلق على الذراع ب.

وزاوية بصره ٢٠ درجـة ، الذي يحدث هو ان يتحرك ذراع المسافة على مقياس زاوية البصر حتى يقابل علامة ٢٠ درجة عليه ، ثم يتحرك ذراع الارتفاع حتى يقابل علامة ٢٢٠٠٠ ياردة على ذراع المسافة وبذلك تُقرأ المسافة الارضـية على ذراع المسافات الارضية ب وهي في حالتنا هذه حوالي ٢٠٥٠٠ ياردة ، والارتفاع حوالي ٢٣٠٠٠ قدم عرفناه من تقاطع ذراع المسافة مع ذراع الارتفاع .

ولـكن من الصعب أن نحصـل من مثل هـذا القياس على معلومات دقيقـة نظراً لانه تقريبي في كل عمله . ولذلك عُمـل جهاز دقيق جداً مبني على نفس النظرية ويؤدي وظيفتـه بمنتهى البساطة والدقة والسرعة .

وحالما تصل المعلومات التي تفيد ان المسافة الارضية للهدف هي ٢٠٥٠٠ ياردة وان اتجاهه (كما قرىء على مقياس الاتجاه) هو ٢٩٤ درجة مثلاً ، يقوم العامل الذي يعين اماكن الاهداف على الخريطة بقياس ٢٠٥٠٠ ياردة من محله على الخريطة في اتجاه ٢٩٤ درجة ويضع نقطة لتبين موضع الهدف الذي يكون في هذه اللحظة طائراً فوق هذه النقطة على ارتفاع ٢٣٠٠٠ قدماً . وكلما وردت الى العامل معلومات جديدة انتج منها نقطـاً جديدة على الخريطة ، وبتوصيل هذه النقط ببعضها يُعرف خط السـير الذي يتبعه الهدف كما يمكن استنتاج سرعته من المسافة التي يكون قد قطعها في زمن معلوم .

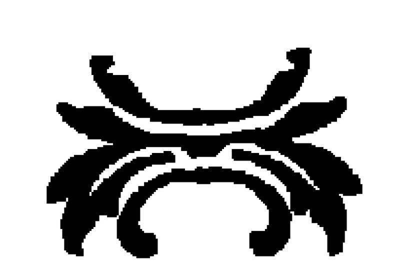
فالرادار اذن لا يحدد محل الهدف فقط ، بل هو يزودنا باتجاه



المرسل لجهاز الرادار المضاد للطائرات نمرة ١ ماركة ٢ ، وتظهر في الرسم منظمة من اربعة من هوائيات نصف الموجة مركّبة على خط واحد، والقمرة كلها تدور على محور تبعاً لحركة قمرة المستقبل .

سيره وسرعته كذلك . وأجهزة الرادار المستخدمة في الانذار المبكر تكتشف مجموعة الطائرات المغيرة وتبلغ مسافاتها واتجاهاتها الى السلطات المختصة في المناطق المهددة بمثل هذه الغارة ، حتى إذا ما اقتربت الطائرات من اهدافها بدأت اجهزة الرادار الاخرى عملها هي والبريدكتور في تزويد المدافع المضادة للطائرات بالمعلومات الدقيقة التي تمكنها من الاشتباك بنجاح مع هذه الاهداف التي قد تكون ملتحفة بالسحب فلا يراها المراقب العادي . وبطريقة مشابهة لما سبق تُعرف اتجاهات سير وسرعات المراكب المعادية بواسطة اجهزة الرادار الساحلية او الموضوعة على مراكب . ولا يفوتني ان اذكر انه ليس هناك من عائق يستطيع ان يعوق الرادار عن تأدية وظيفته : فلا الضباب ولا الدخان ولا الظلام يمنعه من ان يكتشف الاهداف .

وسنرى في الفصول الختامية القادمة ما الذي اداه الرادار في الحرب من جليل الخدمات وما هو منتظر منه في وقت السلم .

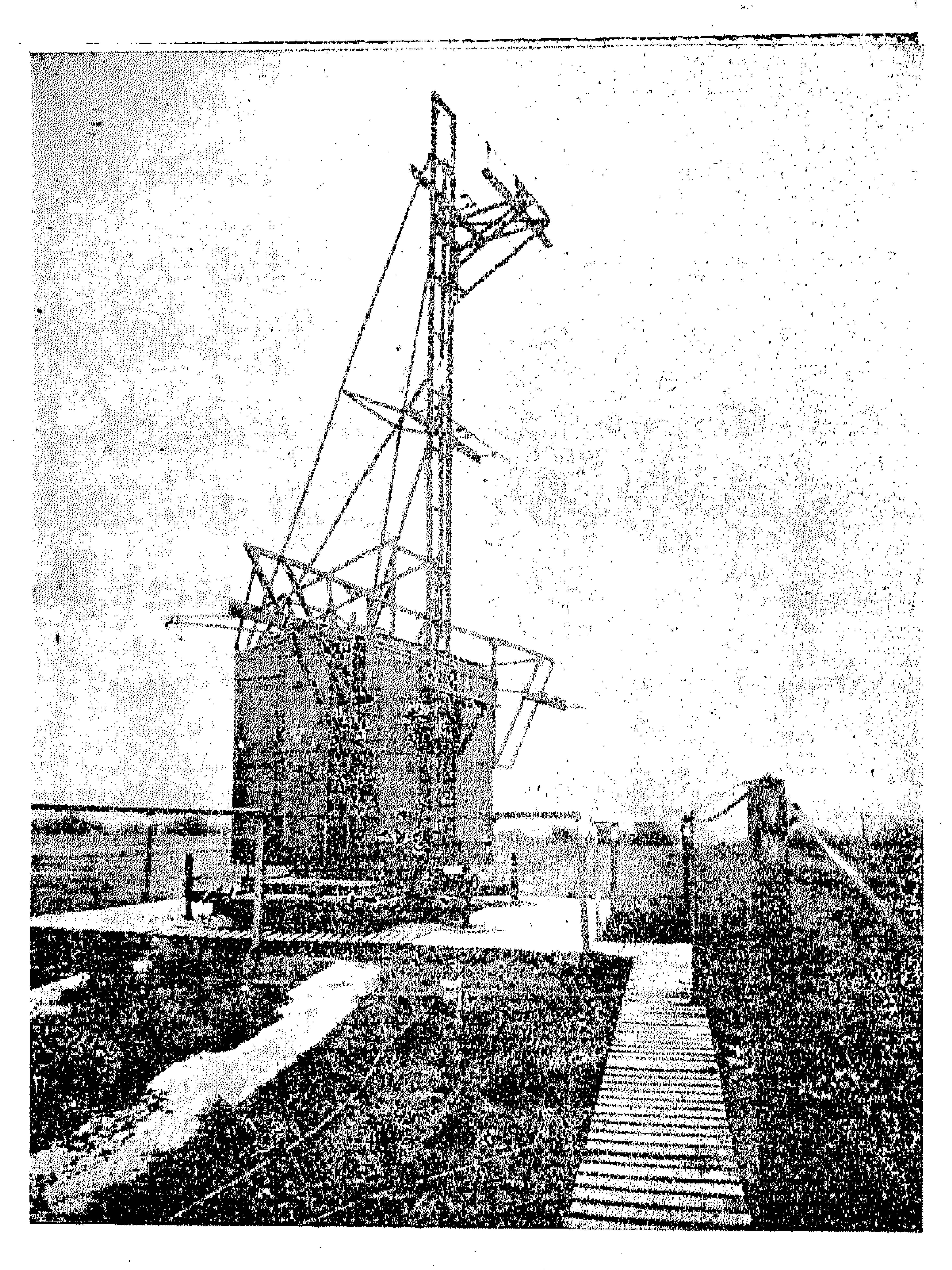


الفصل الثاني عشر
قصة الميلاد

ليس من الانصاف ان اختتم كتابي هذا دون ان اسجل على صفحاته الاخيرة قصة ميلاد الرادار ، ذلك الانتاج الجبار للعبقرية البشرية والنتيجة المشرفة لجهود علماء أفذاذ استنفدوا اعمارهم في بذل هذه الجهود ولم يسألوا احداً شكراً ولا عرفاناً بالجميل . علماء اثبتوا انه ليس هناك وطن للعلم بل ان العلم هو الوطن لكل عالم . وقد اجزل اولئك العلماء البذل لأوطانهم ولم ينتظروا من شعوبهم ان يقيموا لهم التماثيل والنصب التذكارية او من اولي الامر فيهم ان يخلعوا عليهم العطايا والرتب ، فكان لهم في ذلك ابلغ معاني التكريم ، وكأنهم اضفوا على انفسهم دون ان يقصدوا اسمى آيات الثناء والتمجيد .

في اعقاب الحرب الماضية (١٩١٤ — ١٩١٨) كانت المعلومات المتداولة عن خواص الموجات اللاسلكية مبتورة ومملوءة بالثغرات الفنية. كانت هذه الموجات مقسمة كالآتي : موجات قصيرة وهي التي طولها اقل من ١٠٠ متر ، وموجات متوسطة وهي التي يتراوح

طولها بين ١٠٠ متر والف متر ، ثم الموجات الطويلة ويقع طولها بين الف متر وخمسة آلاف متر . اما الموجات الاطول من ذلك كالموجات الطويلة جداً فقد حدد طولها ليصل الى ٢٢٥٠٠ متر . وكانت هذه الموجات الاخيرة هى التي تذيع عليها احدى محطات الاذاعة التجارية الفرنسية ، وكان الاعتقاد السائد في تلك الاوقات انه لا يمكن انشاء شبكة لاسلكية تربط جميع انحاء العالم الا باستخدام محطات قوية جداً للاتصال تذيع على موجات طويلة جداً وكم اكد أكثر من عالم ممن يطلق عليهم لقب الافذاذ ان الموجات التي طولها اقل من ١٠٠ متر (وهي الموجات القصيرة) ليست لها أي فائدة على الاطلاق في المواصلات اللاسلكية . وفي نفس هذا الوقت اي حوالي عام ١٩٢٠ كان هناك كفاح مستمر تقوم به جماعة هواة اللاسلكي طالبين ان تعيّن لهم السلطات المختصة موجات ذات اطوال خاصة بهم كي يتمكنوا من ان يجروا في حدودها تجاربهم عن الارسال والاستقبال اللاسلكي دون ان يتعرضوا لتداخل اذاعات محطات الاذاعة والمحطات التجارية اللاسلكية في هذه التجارب الخاصة . ولم يجد المسئولون حرجا في اجابتهم الى مطلبهم حتى يتجنبوا ما يثيره هؤلاء الهواة من متاعب ، فمنحوهم في كثير من البلاد حق استخدام الموجات القصيرة « عديمة الفائدة » على حد تعبير اولئك السادة الذين كان بيدهم الامر في ذلك الوقت . وظنوا انهم بعملهم هذا قد تجنبوا لجاجة طبقة الهواة وانهم قد ضمنوا سلامة اذاعات المحطات الاساسية التي تعمل



المستقبل لجهاز الرادار نمرة ١ ماركة ٢ ، وقمرة هذا المستقبل تدور على محور لتوجّه على الهدف . والهوائي العلوي والذي يليه خاصان بقياس زاوية البصر . أما الثلاثة هوائيات السفلى فمنهما اثنان (اللذان في الاجناب) لقياس الاتجاه والاوسط لقياس المسافة . وتظهر الارض حوله وقد فرشت بسلك لتبدو مسطحة حتى يكون الارسال منتظماً .

بهمة مشكورة على الموجات الطويلة جداً « ذات الفائدة العظمى » .

ولقد قبل اتحاد الهواة هـذه الهبة من الحكومات وبدؤوا جادين في استغلال قطعـة العظم التي تفضلت عليهم بها حكوماتهم (تبعاً للظن السائد) . ولـكن سرعان ما تناقل الرواة خبر النتائج المدهشة التي حصل عليها اولئك الهواة من استخدام هذه الموجات القصـيرة مما لا يصدقه العقل . فلقد ظُن في بادىء الامر ان تقييدهم باستعمال هذه الموجات القصيرة فضلا عن عدم السماح لهم إلا باستخدام محطات ارسال تذيع بقوة صغيرة سوف يحدد المدى الذي يستطيعون الاتصال عليه بواسطة هذه الموجات بمسافات قصيرة جداً لا تفيدهم الا في التسلية البريئة لقتل الوقت . ولـكن الواقع كذب الظن ، اذ دلت التقارير على ان الهواة الانجليز مثلا تمكنوا من الاتصال اللاسلكي بالهواة الفرنسيين في فرنسا والبلجيكيين في باجيكا والهولنديين في هولندا وغيرها من البـلاد الاوربية الغربيـة . وفي نفس الوقت الذي ثبتت فيه صحة هذه التقارير كان الاتصـال اللاسلـكي قد تم بين الهواة في انجلترا وزملائهم في ايطاليا وهنغاريا وبولندا بواسطة الموجات القصيرة ، ثم حدثت المفاجأة الكبرى في صورة اشاعات تفيد اتمام الاتصال اللاسلـكي بين انجلترا وامريكا . ولقد كذب الكثيرون هذا النبأ الا انه سرعان ما ثبتت صحتـه جمـلة وتفصيـلا . وكان اعظم الاتصالات اللاسلكية هي نجاح احد الهواة في ارســال اذاعات لاسلـكية من انجلترا على الموجة القصيرة بواسطة محطة ارسال لا

تزيد القوة الكهربائية التي تشغلها عن تلك التي تستهلك في اضاءة النور الخلفي للسيارة ، وسماع هذه الاذاعات في زيلندة الجديدة .

اذن فقد ازيح الستر عن سر هذه الموجات القصيرة وثبت قطعاً انها ليست عديمة الفائدة في تغطية المسافات الطويلة بالدرجة التي صورت بها . وبدأ المحترفون يرون — كما رأى الهواة قبلهم — انه في الامكان الاستفادة من هذه الموجات الى اقصى حد . ومنذ ذلك الوقت والعلم يتقدم وثباً ، واصبحت تلك الموجات القصيرة التي كانت في يوم من الأيام موضع الاهمال التام من اهم وسائل الاتصال اللاسلكي على المسافات الطويلة جداً . ولولا اكتشاف خواص هذه الموجات واستخدامها في الاتصال اللاسلكي والتليفوني والتلغرافي حول العالم لما وصلنا الى ما نحن فيه الآن ، ولما كان هناك تلفزيون أو رادار . والى طبقة الهواة الذين اتى ذكرهم يرجع الفضل الاعظم ، فلقد كانت النتائج التي حصلوا عليها سبباً في التفكير الجدي لقلب كل النظريات العلمية الخاصة بالموجات والتي كانت شائعة في ذلك الوقت . فبدأ البحث العلمي على اسس جديدة مبشرة بالخير الاعظم وتبع هذه الابحاث ما نسمع عنه اليوم من الاختراعات العجيبة وما ينتظر ان يكون .

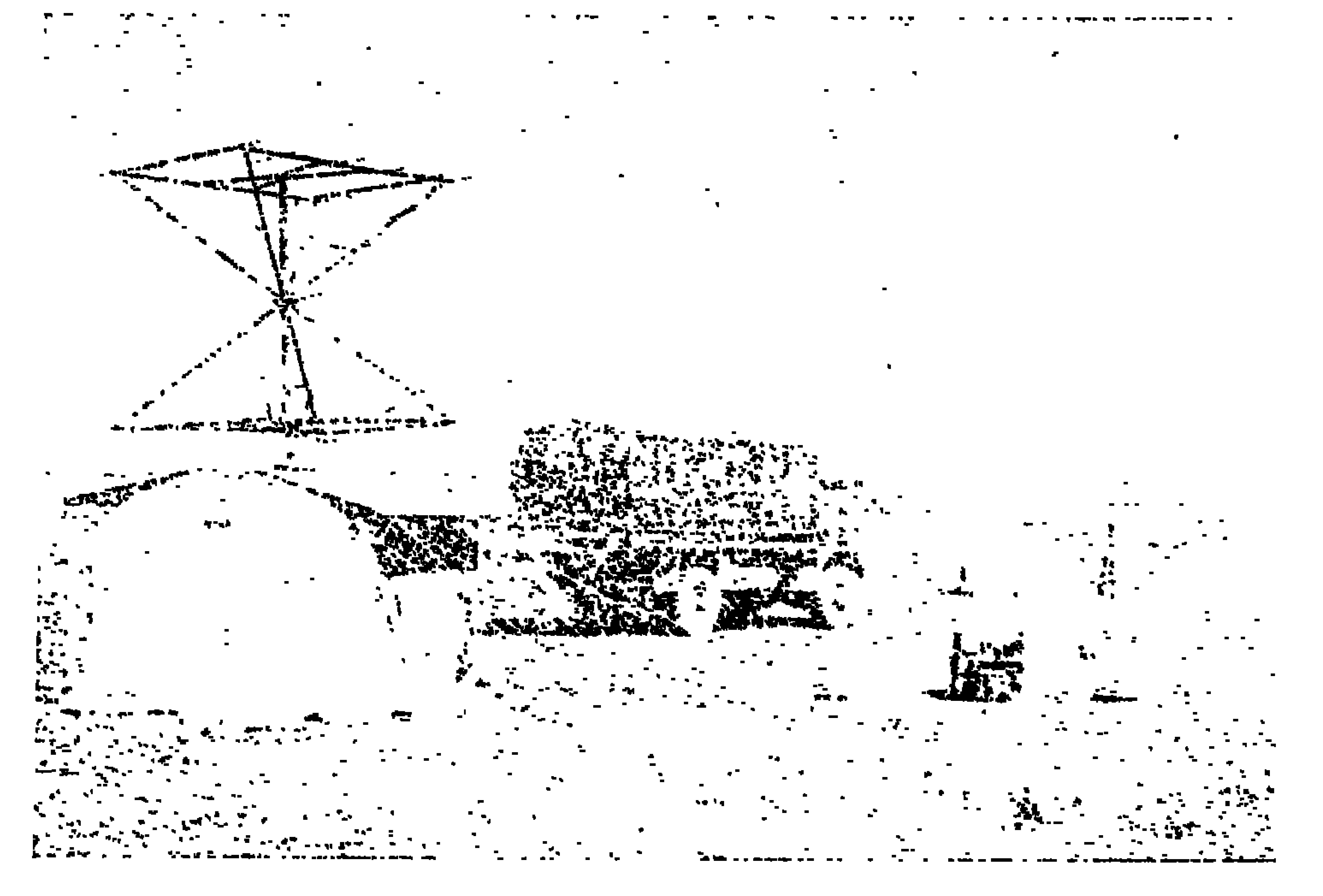
ولقد رأيت ان اوضح في جدول تقسيم الموجات اللاسلكية وخواصها الرئيسية واستخداماتها الاساسية معتقداً أن ذلك سوف يفيد في تفهم الجزء الخاص بالموجات الارضية والموجات السماوية والمنطقة المتأينة الذي رأيت ان افرد له معظم هذا الفصل :

طبقة الموجة	طول الموجة بالمتر	التردد بالكيلوسيكل	الخواص الرئيسية	الاستخدامات
طويلة	اكثر من ٣٠٠٠	أقل من ١٠٠	تسافر هذه الموجات على سطح الارض بينها وبين الحد الاسفل للمنطقة المتأينة .	الاتصال اللاسلكي بين نقطة واخرى على مسافات متوسطة وطويلة .
متوسطة	من ٣٠٠٠ الى ١٠٠	من ١٠٠ الى ٣٠٠٠	تسافر على سطح الارض نهاراً وفي الليل ينعكس بعضها من المنطقة المتأينة	للاذاعة من السفن والطائرات ولايجاد الاتجاه .
قصيرة	من ١٠٠ الى ١٠	من ٣٠٠٠ الى ٣٠٠٠٠	تسافر الى المنطقة المتأينة ومنها تنعكس الى الارض ، وتتغير احوال الانعكاس تبعاً لتغير الفصول وأوقات النهار .	الاذاعة على مسافات طويلة .
فوق القصيرة	أقل من ١٠	اكثر من ٣٠٠٠٠	تسافر على سطح الارض فقط وعلى مسافات قصيرة جداً نسبياً .	للاذاعة على مسافات قصيرة وفي التلفزيون ولارشاد الطائرات بالراديو

لماذا تسمى الموجات اللاسلكية موجات كهرمغناطيسية : خُصص اول فصل في هذا الكتاب للكلام عن الموجات ووصفت فيه الموجات اللاسلكية بأنها موجات كهرمغناطيسية ، ثم جاء ذكر الموجات مرة اخرى في هـذا الفصل ، والآن نعود للكلام عنها ولكن من وجهة نظر جديدة . وسـوف تجدون ان البحث الجديد إن هو الا تكملة للابحاث السابقة فهو يتعلق باشعاع موجات الراديو . وفي مثل هذا الكتاب لا يمكن الدخول في تفاصيل معقدة تتعلق بالطريقـة التي تنتج بها موجات الراديو بالضبط ولكن من المستطاع بسط بعض الحقائق الاساسية التي تفيد في توضيح الاسـباب التي تدعو الموجات القصيرة الى التصرف بشكل خاص . فعندما يبـدأ جهاز الارسال عمله تصل الى الهوائي شحنات كهربائية تتذبذب على طوله وهذه الشحنات تسبب مجالا كهربائياً في الفضاء المحيط بهذا الهوائي . ولا يحتاج هذا المجال الكهربائى الى اي وسط من الاوساط كى يتكون فيه (ظهرت نظرية جديدة تنادي باهمال الاثير كوسط تنتقل فيه موجات الراديو) . وتمثل هذا المجال الكهربائى خطوط خيالية تسمى خطوط القوى الكهربائية . ونظراً لأن الشحنـة التي على الهوائي تتذبذب بسرعة عالية فان خطوط القوى الكهربائية لا تنفك تنهار وتفقد اتصالها بسلك الهوائي ويحدث ذلك باستمرار . وهـذه الخطوط تكون دائماً مصحوبة بخطوط قوى مغناطيسية تعمل في اتجاه عمودي عليها . وهذا الاضطراب الذي يحدث في الفضاء نتيجة لتغيير خطوط

القوى الكهربائية والمغناطيسية اتجاهاتها باستمرار بسبب تذبذب الشحنة الكهربائية على الهوائي هو ما يسبب الموجات الكهرمغناطيسية التي تسري في الهواء بسرعتها الطبيعية التي تبلغ كما عرفنا قبل الآن ٣٠٠ مليون متر أو ١٨٦ الف ميل في الثانية . ويسمى الطرف الخارجي لهذا الاضطراب الكهرمغناطيسي *مقدم الموجة* ، وفي اي جزء من اجزاء مقدم الموجة ، حين تكون قريبة من هوائي المرسل ، يكون اتجاه كل من المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي وحركة تقدم الموجة عموديا على الآخر . وكلما تذبذبت الشحنة الكهربائية على الهوائي استمر اشعاع الموجات الكهرمغناطيسية منه . ويتوقف معدل إشعاع هذه الموجات من الهوائي على المعدل الذي تصل فيه الاهتزازات الكهربائية من المرسل اليه ، ويسمى هذا المعدل « *التردد* » الذي سبق ذكره على الصفحات السابقة في هذا الكتاب .

الموجات الارضية : — يشع هوائي المرسل الموجات في جميع الاتجاهات : فمنها ما يخرج موازياً لسطح الارض ومنها ما يرتفع الى أعلى وهكذا . أما عن الموجات التي تسري موازية لسطح الأرض فانها تسبب تيارات كهربائية في سطح الارض ،وهذه التيارات تضعف الموجات إذ أنها تفقدها بعض الطاقة . ويطلق الاصطلاح « **امتصاص الارض** » على هذا الفقدان ، الا انه من الخطأ ان تتصور ان الموجة كلها هى التي تفقد الطاقة ، فجزء الموجة الذي يلامس سطح الارض فقط هو الذي يفقد الطاقة اما الجزء العلوي منها فانه ينحني للامام وللاسفل قليلا



جهاز الرادار للإنذار المبكر عن اقتراب الطائرات المعادية نمرة ٤ ماركة ٣ وهو يحمل على سيارة خاصة به اثناء نقله الى مكان العمل. إلا ان الجهاز كله يقام الآن داخل عربة تركب عليها الهوائيات فلا يحتاج الأمر لانزاله الى الأرض أبداً .

ليعوض بعض هذه الطاقة المفقودة من اسفل الموجة وكذلك ليتمكن من ان يتبع تكور سطح الارض . ولكن الطاقة التي يفقدها القسم الاسفل من الموجة لا يعوض بهذه الطريقة الا جزئياً ونظراً لانه يستمر في انتاج تيارات كهربائية في الارض ، يأتي وقت تضمحل فيه الموجة الارضية نهائياً . وهناك نقطة أخرى لا مانع من ايرادها في هذا المجال وهي ان الموجة تبدأ رحلتها من الهوائي وخطوط القوى الكهربائية في وضع رأسي الا أن فقدانها بعض الطاقة بسبب امتصاص الارض يجعل هذه الخطوط تنحني للامام وللأسفل قليلا كما رأينا ، الامر الذي يجعل اسفل الموجة يتأخر قليلا عن اعلاها مع الاحتفاظ باتجاه خطوط القوى الكهربائية عمودياً على اتجاه خطوط القوى المغناطيسية ، اي ان الموجة الارضية تصبح منحنية للامام قليلا بعد ابتعادها عن الهوائي .

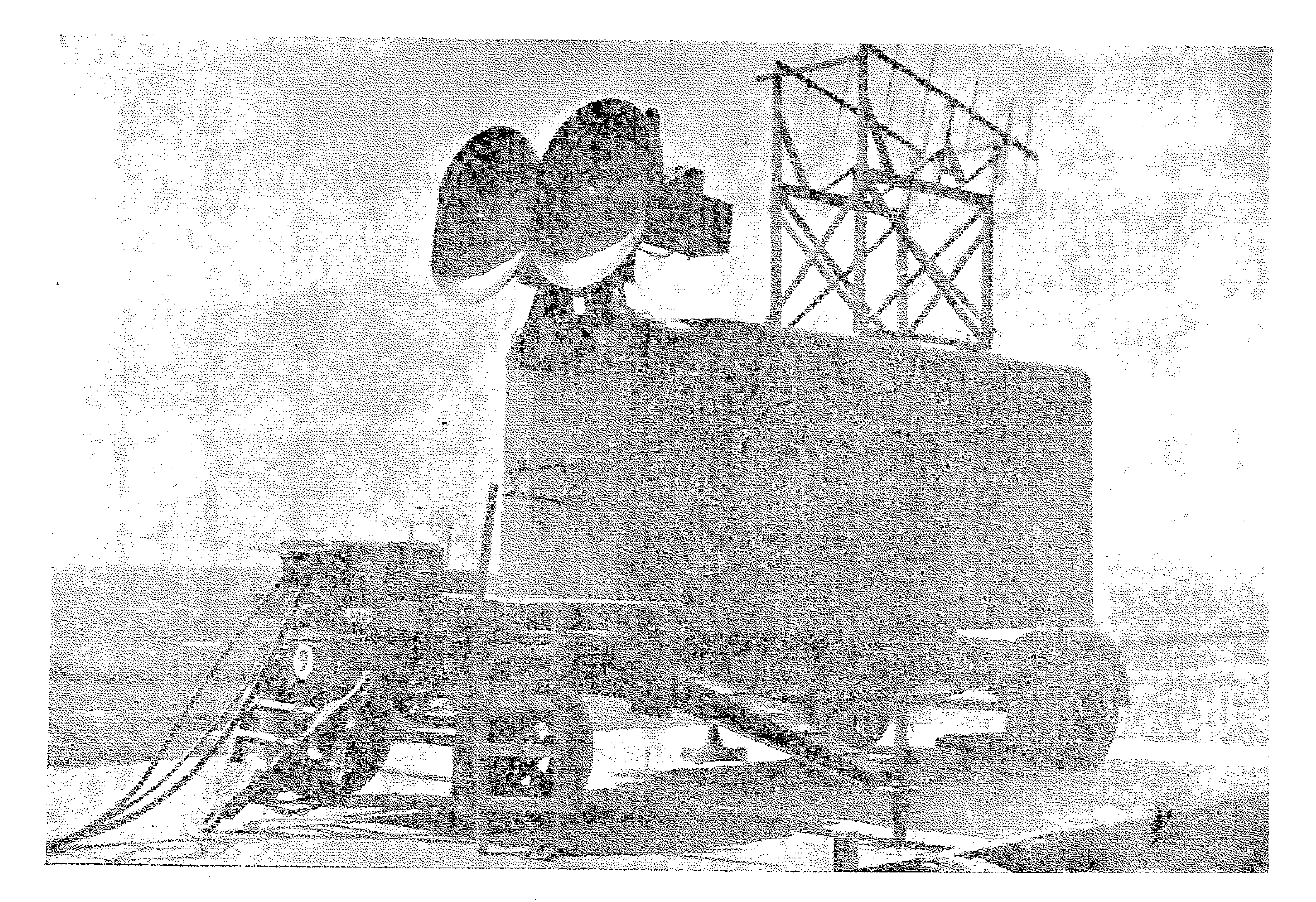
والآن نأتي الى النقطة الهامة التي سوف تساعدنا على توضيح اسباب التصرفات المختلفة للموجات تبعاً لتغير اطوالها وبالتالي تبعاً لتغير التردد : تتوقف قيمة الطاقة التي يفقدها الجزء الاسفل من الموجة الارضيـة على طبيعة الارض او الماء الذي تسري فوقه كما تتوقف على طول الموجـة أو على التردد ، فكلما زاد التردد زادت كمية الطاقة المفقودة في الارض وبالتالي ازدادت سرعة اضمحلال الموجة . اما اذا كانت الموجة طويلة نسبياً طال عمرها وازداد المدى الذي تستطيع ان تذيع عليه محطة الارسال التي تستخدم مثل هذه الموجات

الارضية . اي انه كلما طالت الموجة الارضية كلما اصبحت اكثر ملاءمة للاتصال على المسافات الطويلة الارضية . فاذا نحن قصرّنا طول الموجة بتكبير التردد في المرسل ازداد فقدان الطاقة وقلّ المدى الذي تستطيع ان تذيع عليه محطة الارسال .

والشكل (٥٤) يوضح كيف يتغير مدى محطة الارسال مع تغير طول الموجة الارضية . فباستخدام اطول الموجات ينخفض الفقدان الناتج من امتصاص الارض الى درجة بسيطة وبإنقاص طول هذه الموجات حتى تصل الى طبقة الموجات المتوسطة يتزايد الفقدان بسرعة مما يحدد المدى الذي تستطيع ان تسافر فيه الموجة الارضية تحديداً كبيراً . ومن الجدول السابق يتبين ان هذه الموجات لا تُستخدم الا في الاتصال اللاسلكي على المسافات القصيرة . ومن نفس الشكل (٥٤) يتبين ان المنحني الذي يمثل المدى الذي تستطيع ان تسافر فيه الموجة الارضية يستمر في الدلالة على الانخفاض السريع كلما قصر طول الموجة حتى اذا وصل هذا الطول الى اقل من ١٠٠ متر اصبحت الموجات الارضية عديمة الفائدة تقريباً في الاتصال اللاسلكى . ثم

الشكل (٥٤) يبين تغير المدى بتغير طول الموجة .

يلاحظ بعد ذلك ان المنحني يبدأ ثانياً في الصعود عندما يصل طول الموجة الى اقل من ١٠٠ متر ، وكلما قل طول الموجة زادت المسافة التي تستطيع ان تقطعها . ولكننا لم نتبين الى الآن السبب في ارتفاع المنحني دالاً على ازدياد المسافة عندما قصر طول الموجات . اذن فلنحاول في السطور القادمة ان نعرف هذا السبب : تكلمنا حتى الآن عن الموجة التي تصدر من الهوائي في اتجاه مواز لسطح الارض ولكن هنالك موجات اخرى تنبعث في اتجاهات مختلفة الى اعلى ، ومثل هذه الموجات حين تترك الهوائي تبدأ في رحلة الى الطبقات العليا في السماء ولذلك تسمى الموجات السماوية . وفي عمليات الاتصال اللاسلكي بالموجات القصيرة يُعتمد كلية على هذه الموجات السماوية فهي التي تشغل المستقبل اللاسلكي الذي يكون موجوداً على مسافات بعيدة جداً من محطة الارسال . ولكن كيف يتم ذلك وهذه الموجات تصبح نظراً لسرعتها الضخمة ، بعيدة عن الارض آلاف الاميال بعد مضي ثانية على الاكثر من تركها للهوائي ؟ لا شك في ان هذا السؤال يكون في موضعه لو ان رحلة الموجات كانت خلال طبقة من الهواء العادي كذلك الموجود على سطح الارض او فوقها بقليل . ولكن لحسن الحظ ليس كل الهواء المحيط بالكرة الارضية عاديا . ففي الطبقات الجوية العليا تغلف الارض منطقة تحول فيها الهواء الى موصل كهربائي الامر الذي يجعله يتعامل مع موجات الراديو بطريقة مخالفة للهواء الموجود قرب سطح الارض . ويقال لهذا الغلاف المكوّن

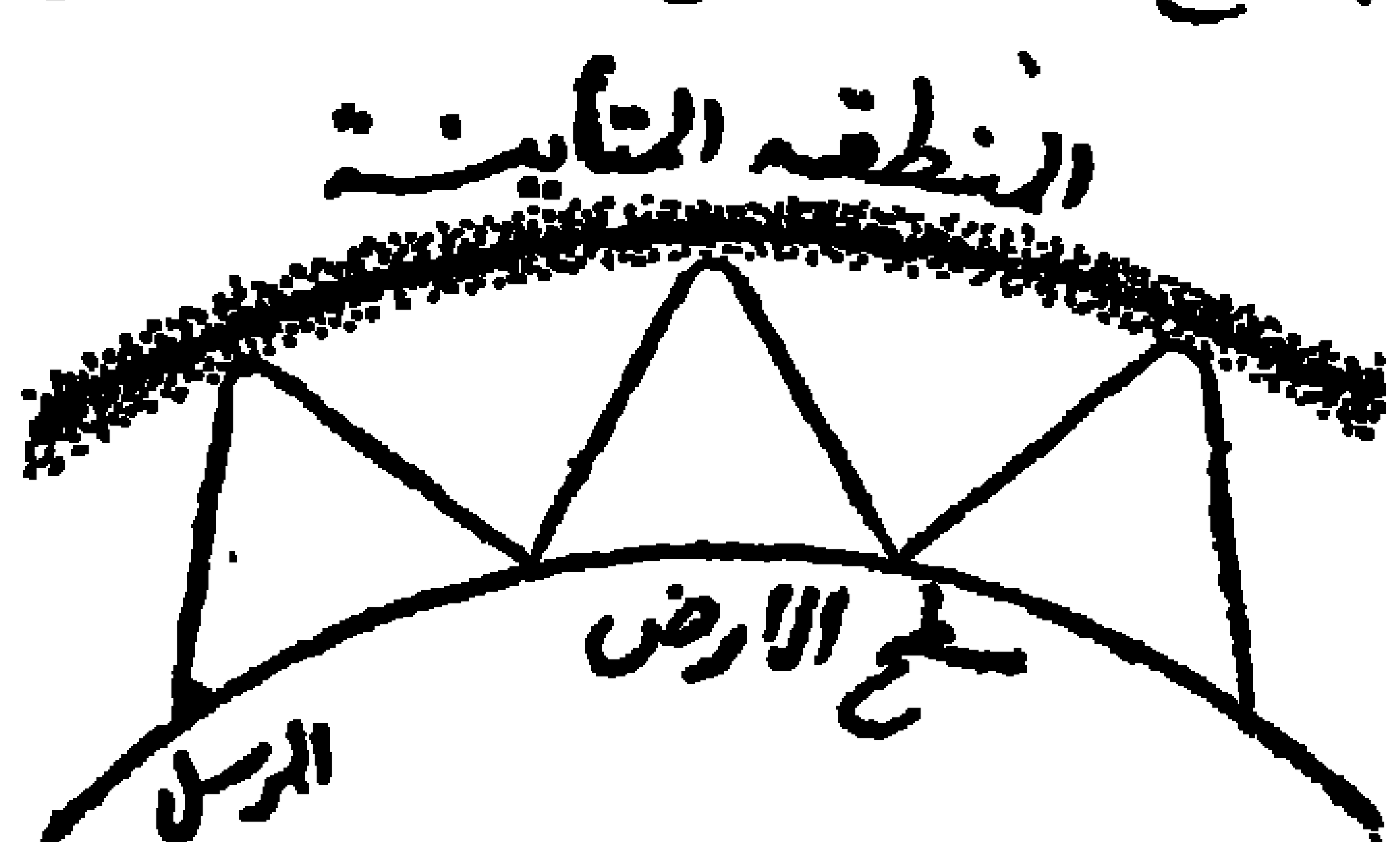


جهاز الرادار نمرة ٣ ماركة ٢ الكندي وهو يستخدم الموجات السنتيمترية ويظهر في أعلاه زوج من هوائيات القطع المكافىء الدوراني التي تساعد على تركيز الاشعاع اللاسلكي في شعاع ضيق . أما منظمة الهوائيات التي تظهر في اليمين فهي خاصة بجهاز التعرف على الطائرات للتأكد مما اذا كانت معادية أو حليفة I.F.F. .

من الهواء الموصل انه متأيّن Ionised ولذلك تسمى المنطقـة التي تضم مثل هذا الهواء *المنطقة المتأينة* Ionosphere وهـذه المنطقة تمتد من ارتفاع ٣٠ ميلا فوق سطح الارض الى ٣٠٠ ميل .

ماذا يحدث للموجات في المنطقة المتأينة ؟ يمكن تشبيه الموجات الصادرة من هوائي المرسل في الاتجاهات العلوية باشعة لاسلكية كالاشعة الضوئية وهـذه الاشعة تسري الى اعلى بنفس السرعة التي يسري بهـا الضوء وعنـد وصولها الى المنطقة المتأينـة بطبقاتها التي تحوي الهواء الموصل للـكهرباء تبدأ في تغيير تصرفاتهـا فتنحرف عن خط سيرها المستقيم وتأخذ في الانحناء حتى تصبح الزاوية المحصورة بين خط السير الجديد والخط الموازي لسطح الارض اقل من الزاوية التي كانت بين خط السير الاصلي وسطح الارض حين تركت الموجات هوائي المرسل . ويستمر هذا الانحناء اكثر فأكثر كلما تعقمت هذه الاشعة في المنطقة المتأينة حتى تأتي لحظة تبرز فيها مرة اخرى من السطح الاسفل لهذه المنطقة وتسمى عملية الانحناء « الانكسار » .

والشكل (٥٥) يبين هذه العملية بشعاع واحد فقط من الاشعة اللاسلكية وهذه الاشعـة تفقد جزءاً بسيطا من الطاقة في المنطقة المتأينـة ولذلك فهي قادرة على تشغيل اي مستقبل لاسلـكي يكون موجوداً عند النقطة التي

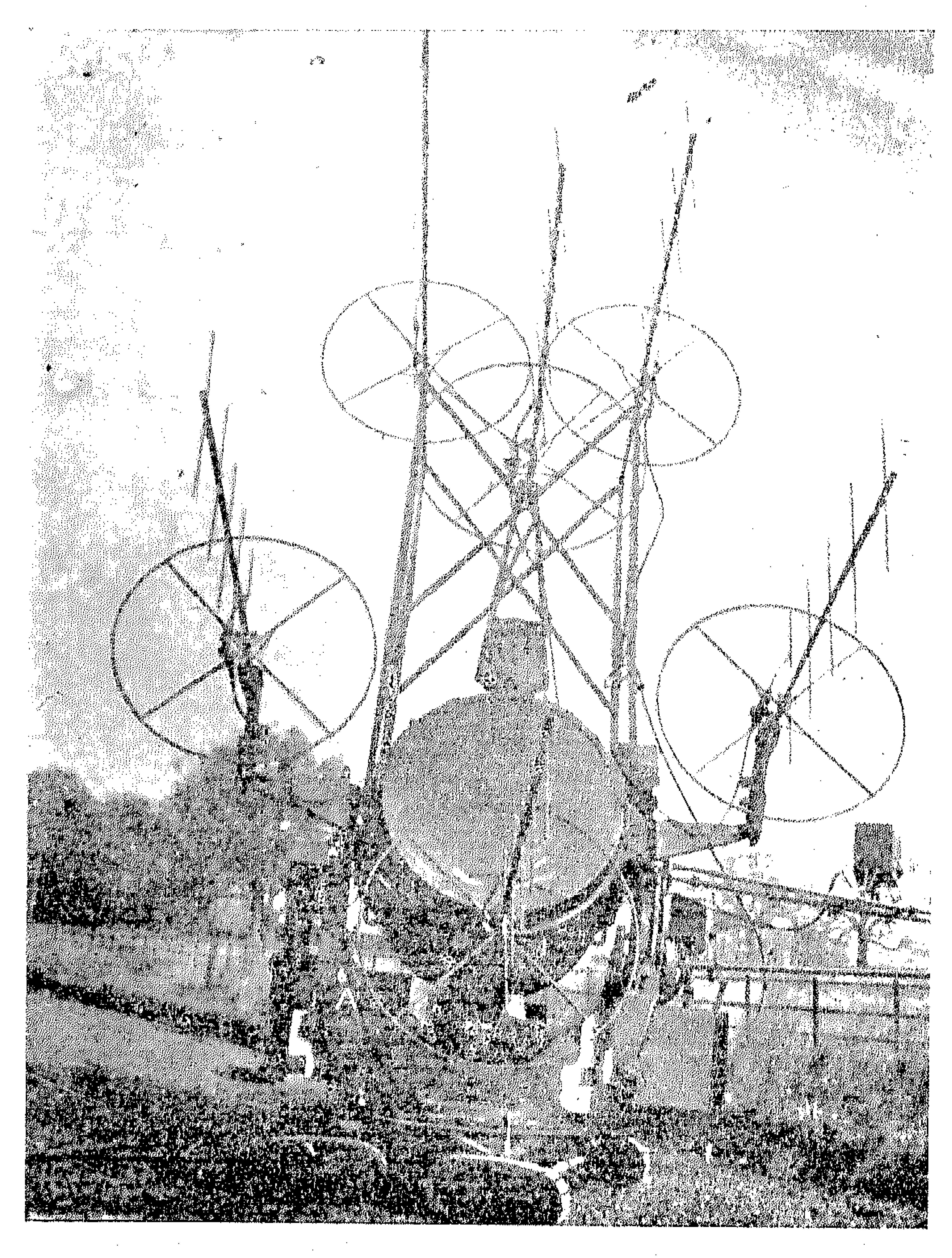


الشكل (٥٥) الارسال اللاسلـكي بواسطة الموجات القصيرة حول الارض.

تقابل فيها سطح الارض عند ارتدادها من المنطقة المتأينة ، وقد يكون البعد بين هذه النقطة وبين المرسل الاصلي بضع مئات من الاميال . وهذا الشعاع (الذي في الشكل ٥٥) حالما يصل الى سطح الارض ينعكس مرة اخرى ، كشعاع الضوء حين ينعكس من المرآة ، مرتداً الى أعلى بنفس الزاوية التي خرج بها في اول مرة من المرسل ، وهو اذ يصل الى المنطقة المتأينة ثانياً ينكسر مرة اخرى ، وتتكرر نفس العملية السابقة حتى يصل هذا الشعاع الى نقطة اخرى على سطح الارض وهكذا . اي ان الموجات تقطع مسافات طويلة جداً على الأرض في قفزات متتابعة . وهذه الظاهرة إن هى إلا فضل من الله ، فلقد كان من الاستحالة والارض كروية كما نعرف ان تتصل مصر باستراليا مثلا اتصالا لاسلكياً لو ان الموجات اللاسلكية كانت تسافر فقط في خطوط مستقيمة حين تشع من المرسل . والشكل (٥٥) يبين كما ذكر انعكاس شعاع واحد من الاشعة الصادرة من المرسل ، اي انه حين تنعكس بقية الاشعة الصادرة من المرسل بواسطة المنطقة المتأينة وبطريقة مشابهة فان جزءاً كبيراً من سطح الارض يبعد كثيراً جداً عن محطة الارسال سوف يغطي بهذه الاشعة المنعكسة وبذلك يمكن الاستماع الى الاذاعات المختلفة في جميع بقاع الارض بواسطة آلاف اجهزة الاستقبال التي نملكها نحن ويملكها الآلاف غيرنا .

والآن لنعد مرة اخرى الى الشكل (٥٤) . سبق اننا بحثنا التصرفات المختلفة للموجات الارضية ذات الاطوال المتباينة ووصلنا الى نتيجة هي ان

اضمحلال هذه الموجات يصل الى اقصاه حين تكون قصيرة جداً ويقل حين تكون طويلة جداً . ولكن ماذا عن الموجات السماوية وما الذي يحدث لها اذا كانت طويلة ؟ الواقع ان مايحدث للموجات السماوية هو عكس الذي يحدث للموجات الارضية على خط مستقيم : فهذه الموجات السماوية اذ يزداد طولها تزداد سرعة اضمحلالها والعكس بالعكس وهذا يوضح لنا السبب في صعود المنحني في الشكل (٥٤) عند ما وصل الى الموجة التي طولها اقل من ١٠٠ متر . فلو ان الموجات المستخدمة كانت طويلة جداً لما ارتدت اية موجة سماوية الى الارض من المنطقة المتأينة وبالتالي لما امكن استقبال اي اذاعات تحملها الموجات السماوية الطويلة . وكلما قصر طول الموجات اي زاد التردد قل مدى محطة الارسال بالنسبة للموجات الارضية التي تزداد سرعة اضمحلالها بينما لا تعود الموجات السماوية الى الارض كذلك نظراً لأنها تفقد الطاقة فقداناً كلياً في الجزء الاسفل من المنطقة المتأينة . ولكن مع الاستمرار في تقصير طول الموجة حتى يصل الى اقل من ١٠٠ متر يقل اضمحلال الموجات السماوية في نفس الوقت الذي يزداد فيه اضمحلال الموجات الارضية حتى نصل الى نقطة تبدأ فيها هذه الموجات السماوية في الارتداد منعكسة الى سطح الارض من المنطقة المتأينة ويبدأ مدى محطة الارسال في الزيادة ، وكلما نقص طول الموجة بعد ذلك ازدادت الموجات السماوية شدة حتى يصبح في امكانها ان تصل بعد أن يتم انعكاسها عدة مرات الى اقصى المسافات على سطح الارض . من كل ما سبق يتضح اننا نعتمد

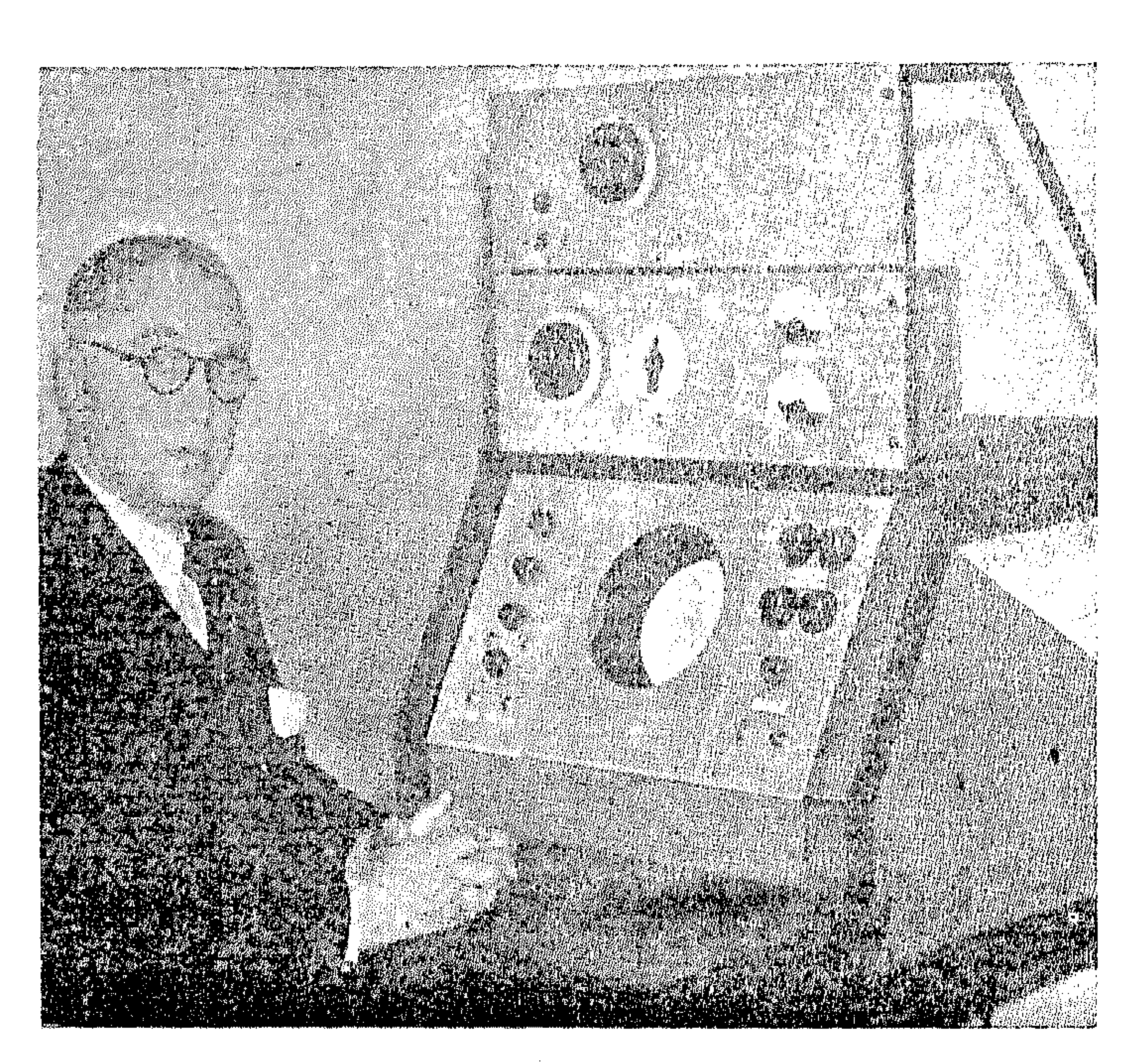


جهاز الرادار الخاص بادارة الانوار الكاشفة المسمى .S. L. C
أو Elsie (وهو اسم تدليل) مركباً على باعث انوار كاشفة مضادة للطائرات .

في الاتصال اللاسلكي بالموجات القصيرة اعتماداً كلياً على الموجات السماوية وحدها .

المنطقة المتأينة وتكوينها : — قد يتولى القارىء العجب وهو يفكر في الكيفية التي اكتشفت بها المنطقة المتأينة او في الدافع الذي ولد الشك لدى العلماء فى امكان وجودها ، فهى بحكم الطبيعة لا يستطيع مخلوق ان يصل اليها ، كما انها مرتفعة جداً بحيث لا تتمكن الطائرة ولا البالونات الخاصة بالابحاث الجوية من الصعود اليها . ولكن ما حدث فعلاً يبدد العجب : ففى اول الامر كان هناك فرض يقول بوجود طبقة من طبقات الغلاف المحيط بالكرة الارضية هواؤها موصل للكهرباء ودُلل على صحة هذا الفرض باستطاعة موجات الراديو السفر حول الارض . وقيل في التدليل على صحته ايضاً انه لو كانت الحالة الكهربائية للهواء الموجود في الطبقات العليا للجو مشابهة لحالة الهواء الموجود على سطح الارض فان الموجات اللاسلكية كانت تستمر في سيرها في خط مستقيم على سطح الارض حتى تضيع في الفضاء ثم جاء كنللي وهيفيسيد ففرضا وجود مثل هذه الطبقة نتيجة لابحاث مستقلة قام بها كل منهما على حدة حوالي عام ١٩٠٢ ولهذا السبب اطلق اسم كنللي وهيفيسيد على احد اجزاء المنطقة المتأينة . ومنذ ذلك الوقت عرف ان الهواء الذي ظُن دائماً انه من احسن المواد العازلة يتحول الى موصل كهربائي جيد في الطبقات الجوية العليا وذاك بطريق التأين . ففى المنطقة المتأينة توجد غازات لذراتها وجزيئاتها قابلية خاصة للتأين ، وتقوم الاشعة الضوئية فوق البنفسجية الصادرة من الشمس

بتأدية عملية التأيين هذه . ونتيجة لهذه الفروض اخترع جهاز خاص لجس المنطقة المتأينة وكشفها وذلك بارسال نوع معين من الاشارات اللاسلكية من الارض الى الطبقات العليا فترتد هذه الاشارات كصدى لاسلكي حاملة رسائل تصويرية تحوي الكثير من تفاصيل الرحلة

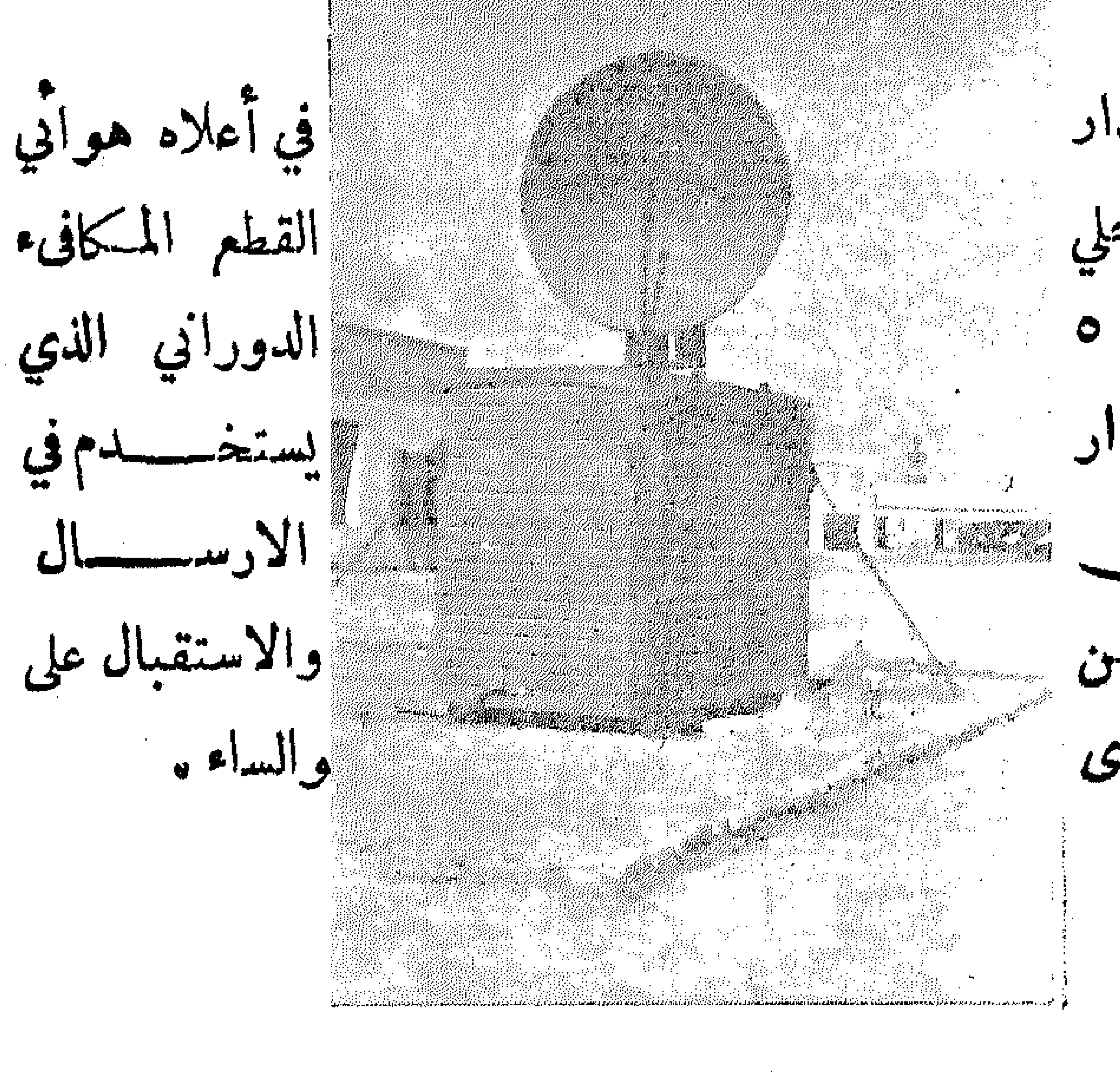


سير إدوارد أبلتون مكتشف طبقة أبلتون في المنطقة المتأينة
وأحد كبار المساهمين بعلمهم الغزير في اختراع الرادار

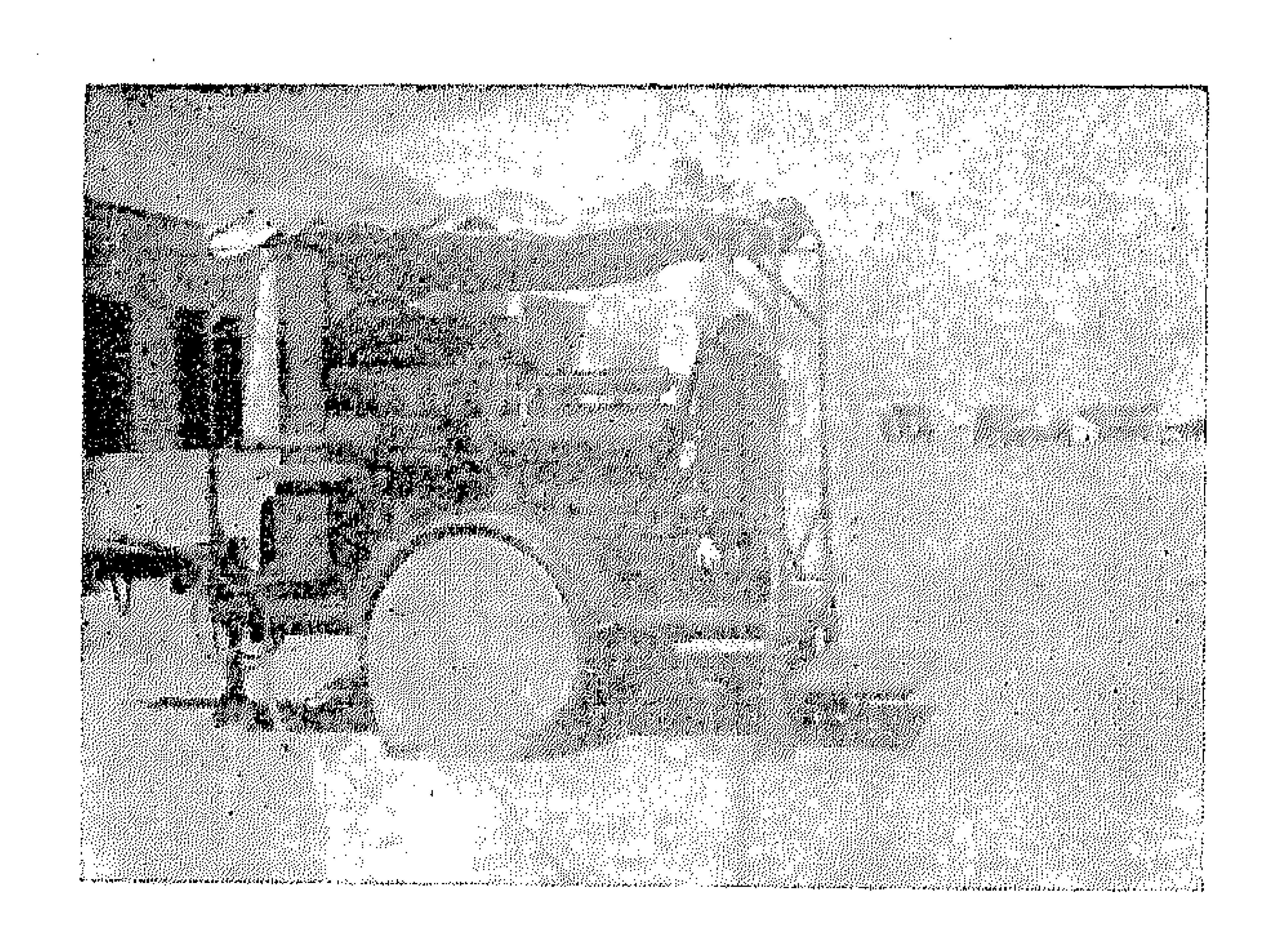
وتروى الغريب عن احوال المنطقة المتأينة كما صادفتها في طريقها . ولقد اجريت اول تجربة من هذا القبيل — وهى التي اثبتت وجود طبقة كنللي وهيفيسيد في المنطقة المتأينة — بواسطة سير ادوارد ابلتون والدكتور م . ا . ف . بارنت عام ١٩٢٤ مستخدمين محطة الاذاعة اللاسلكية

البريطانية في بورنموث ، وتبع اجراء هذه التجربة ونجاحها قيام العلماء في معظم انحاء العالم بعمل تجارب اخرى لجس المنطقة المتأينة اهمها تلك التجارب التي قام بها برايت وتيوف BRETT & TUVE في الولايات المتحدة الامريكية عام ١٩٢٥ . ولم يكن اثبات نظريات كنللي وهيفيسيد اثباتاً قاطعاً هو النتيجة الوحيدة لتجارب سير ادوارد ابلتون بل اظهرت هذه التجارب نتائج جمة جديدة مكنت العلماء من فهم اسباب وجود المنطقة المتأينة واعطت العالم فكرة مفصلة عن تكوين هذه المنطقة وعن التغييرات المستمرة التي تحدث فيها . وسوف نرى الآن ما هي هذه المعلومات التي شحن بها العلماء رؤوسهم كنتيجة للتجارب السالفة الذكر .

اشعاعات الشمس : — يعزى وجود المنطقة المتأينة الى الطاقة التي تشعها الشمس وقد تتضح هذه الحقيقة بسرعة اكثر اذا نحن درسنا بعض التغييرات التي تنتاب مقدرة الهواء الموجود في هذه المنطقة على التوصيل الكهربائي . وقد يكون الدليل القاطع على ان اشعاعات الشمس هي سبب وجود هذه المنطقة هو ما يحدث لها حين تخسف الشمس خسوفاً كلياً : فاذا حدث الخسوف وانقطعت اشعة الشمس كلية بفعل القمر تتناقص درجة التأين في هذه المنطقة ويتبع ذلك ان يصبح الهواء فيها اقل قدرة على توصيل الكهرباء ، ويستمر هذا التناقص طوال المدة التي يزداد فيها خسوف الشمس حتى يصبح كلياً . أي ان درجة التأين تنخفض الى ادنى حد بوصول الخسوف الى اقصاه فاذا ما انتهى بدأت درجة التأين في الازدياد مرة اخرى حتى تعود الى مستواها العادي .



جهاز الرادار للدفاع الساحلي نمرة ١ ماركة ٥ وهو للانذار المبكر عن اقتراب سفن معادية ويرى في أعلاه هوائي القطع المكافىء الدوراني الذي يستخدم في الارسال والاستقبال على والسماء .



ماكينة لستر وهي التي تمد أجهزة الرادار بالقوة الكهربائية اللازمة لتشغيلها . ولكل جهاز ماكينة واحدة في العادة وهي تولد تياراً متغيراً جهده ٢٣٠ ڤولت وقوته ١٥ كيلوڤولت أمبير.

وهذا يعني ولا شك ان العامل الذي كان يسبب تأين الهواء قد اختفى بفعل الخسوف نظراً لأن الاشعة المؤينة قد انقطع وصولها بسبب اعتراض القمر لها واتيانه بين الارض والشمس، الامر الذي يمنع الحرارة والضوء من الوصول الى الارض كذلك في فترة الخسوف . كما انه يلاحظ دائماً ان درجة التأين تأخذ في الانخفاض في الوقت الذي تتناقص فيه الحرارة والضوء الواصلان من الشمس الى الأرض مما يثبت ان الاشعاعات الثلاثة وهى الحرارة والضوء واشعاعات التأيين تسافر نحو الارض بسرعة واحدة . وتتغير درجة تأين الهواء بين الليل والنهار والصيف والشتاء وهذا يثبت مرة اخرى ان الشمس هي العامل الأول في وجود المنطقة المتأينة .

وما الحرارة والضوء اللذان تشعهما الشمس الا موجات كهرمغناطيسية لها نفس خواص موجات الراديو وتنطبق عليها نفس القوانين العامة لاشعاع موجات الراديو كما تسري بنفس سرعتها، الا ان اطوال هذه الموجات تفوق في القصر أقصر موجات الراديو اذ تبلغ حوالي ١٠و٠ سم. طولا . وتدخل موجات الحرارة في مجموعة الموجات المعروفة باسم « تحت الحمراء » ويتراوح طولها بين ٠٤و٠، ٠٠٠٢و٠ سم. بينما يبلغ طول اطول موجة نحس تأثيراتها بالعين وهى موجة الضوء الأحمر ٠٠٠٠٨و٠ سم. وطول اقصر موجة نحس تأثيراتها بالعين كذلك وهي موجة الضوء البنفسجي ٠٠٠٠٤و٠ سم . بعد ذلك تأتي طبقة من الموجات اقصر من موجات الضوء البنفسجي

وهي الاشعة فوق البنفسجية ويبلغ طول موجاتها ٠٫٠٠٠٠٠٦ سم تقريباً وهذه لا نُحسّ بها بالعين . ومن الشمس تتدفق كميات ضخمة من الطاقة الى الفضاء في صورة الموجات السابق ذكرها .

ومن هذه الطاقة يسافر جزء صغير في اتجاه الكوكب الارضي فلا يصل منه الا جزء اصغر الى سطح الارض وهذا الجزء هو الذي نحس به جميعاً بواسطة اعيننا او بواسطة اعضاء الجسم الأخرى التي تتأثر بالموجات المختلفة الاطوال كموجات الضوء وموجات الحرارة . وتصحب موجات الضوء المنظور مجموعة اخرى من الموجات بعضها اقل منها طولا والبعض الآخر اطول منها . والواقع انه لا يهمنا في مجالنا هذا الا تلك الموجات الاقل طولا من موجات الضوء المنظور وهي التي تكوّن الاشعة فوق البنفسجية . وهذه الاشعة تنبعث من الشمس متجهة الى سطح الارض ولكنها لا تصل اليها ابدا اذ تمتص بواسطة الغازات الموجودة في الغلاف الجوي المحيط بالكرة الارضية وتستغل الطاقة التي تحملها هذه الاشعة في تأيين تلك الغازات .

الغازات الموجودة فى الغلاف الجوى : — تتكون هذه الغازات اساساً من الاوكسجين والأزوت وهي ليست موزعة بانتظام خلال الغلاف الجوي كما انها ليست على حالة واحدة في مختلف طبقات هذا الغلاف والى الآن لم يعرف على وجه التحقيق التوزيع الدقيق لهذه الغازات خلال الغلاف الجوي الا ان الثابت حتى الآن هو ان هذا التوزيع يتأثر الى حد ما بالاشعة التي تنفذ الى الغلاف الجوي من الشمس .

وهذه الحقيقة توضح لنا جزئياً السبب في التغييرات التي تحدث في المنطقة المتأينة في الاوقات المختلفة نهاراً وفي فصول السنة المختلفة ، فمثلا لو ان هنالك طبقة ما في الغلاف الجوي يغلب في تكوين هوائها غاز خاص فان الذي يحدد ارتفاع هذه الطبقة عن سطح الارض في بادىء الامر هو نوع خاص من الاشعة الواصلة من الشمس موجاتها ذات طول خاص يلائم هذا النوع من الغاز . وتبدأ بعد ذلك عملية تأيين هذه الغازات بفعل الاشعة الا ان الارتفاع الذي تتم عليه عملية التأيين هو نفس الارتفاع الذي حدد من قبل بواسطة الاشعة الاصلية . من ذلك يتضح ان الارتفاعات التي تتأين عليها الغازات تتغير بتغير اوقات النهار وفصول السنة. والان نريد ان نعرف بعض الشيء عن الطريقة التي يتم بها تأين الغازات ، ولكي نصل الى ما نريد علينا ان نتتبع الاشعة النازلة من الشمس وان نراقب عن كثب ما يحدث حين تصل هذه الاشعة الى الغلاف الجوي متصورين ، ولو لفترة بسيطة ، ان الارتفاعات التي توجد عليها طبقات الغازات المختلفة ثابتة لا تتغير .

كما عرفنا من قبل تتكون المادة من جزيئات وهذه الجزيئات تتكون بدورها من ذرات. والالكترون هو احد مكونات الذرة ولنا ان نتصوره مربوطاً اليها بواسطة شحنته الكهربائية ربطاً خفيفاً دون ان يكون ملتصقاً بكتلة الذرة نفسها. فلو أنه امكن ايصال كمية كافية من الطاقة اليه ، اذن لربما امكنه ان ينفلت من الذرة منطلقاً الى الفضاء . والاشعة فوق البنفسجية حين تصل من الشمس تؤثر في الالكترونات الموجودة في جزيئات الغازات

وتجعلها في حالة اهتزاز كهربائي مستمر فينشأ عن ذلك انبعاث طاقة من هذه الجزيئات وهي الطاقة التي اكتُسبت من موجات الاشعة فوق البنفسجية وبذلك تكون هذه الاشعة قد فقدت كمية من الطاقة امتصت في الغاز فتضمحل موجاتها نهائياً . وتستجيب جزيئات كل نوع من الغازات الى ما يلائمها من الاشعاعات النازلة من الشمس حسب ترددها . فمثلا قد تتذبذب الكترونات جزيئات الازوت بتأثير اشعاع يتكون من موجات ذات طول خاص في حين لا يتأثر الاوكسيجين وهكذا .

فاذا كان طول موجات الاشعاع مناسب للغاز الذي سقط عليه تبدأ الاهتزازات الكهربائية في جزيئات هذا الغاز بشكل عنيف يجعلها تتهشم وتفقد بعضاً من الكتروناتها وهذه تنطلق في الفضاء وتكوّن ما يسمى « الالكترونات الحرة » . وقد لا تستمر هذه الالكترونات حرة مدة طويلة اذ انها لو اقتربت من جزيء آخر ينقص الكترونا تنجذب اليه بسرعة لتكمل النقص فيه ولكن ذلك نادراً ما يحدث في الطبقات العليا للغلاف الجوي نظراً لضآلة كمية الهواء الموجودة على مثل هذه الارتفاعات . وبنفس المعدل الذي تنجذب به الالكترونات الحرة الى جزيئات الغاز الناقصة تنطلق الكترونات حرة جديدة من جزيئات اخرى بفعل الاشعة فوق البنفسجية التي لا ينقطع وصولها من الشمس وبذلك يكون هناك دائما ابداً مورد عظيم لهذه الالكترونات الحرة . وتسمى الجزيئات التي فقدت بعض الكتروناتها أيونات (سبق وعرّفت الايونات في الفصل الخامس) وهذه الايونات ذات شحنة موجبة بينما تحمل الالكترونات

الحرة شحنة سالبة . وللغاز المتأين نفس خواص الموصل الكهربائي وذلك لان الالكترونات الحرة تجوب خلاله مستقلة عن جزئياته مؤثرة في موجات الراديو بالكيفية التي سبق أن ذكرناها. فاذا حدث وانقطعت أشعة الشمس عن الغلاف الجوي اثناء الليل او في حالة الخسوف الكلي تعود الالكترونات الحرة الى الاتحاد مع الجزيئات الناقصة مرة اخرى وبذلك تقل كثافتها. ويتوقف المعدل الذي يتم به هذا الاتحاد على كثافة الغاز نفسه فهو ضئيل في الجزء الخارجي من الغلاف الجوي حيث تكون الغازات نادرة الوجود ويزداد كلما تعمقنا في الغلاف الجوي حيث ترتفع درجة كثافة الغاز .

ويمكن تلخيص ما سبق في ان الاشعة فوق البنفسجية تنبعث من الشمس متجهة الى الارض فتقابل في طريقها الغازات التي يتكون منها الغلاف الجوي وتمتص كل طبقة يسود فيها غاز خاص الاشعة ذات التردد المناسب لها ، وتُستنفد الطاقة التي تحملها هذه الاشعاعات في تأيين الغازات المختلفة . وهي اذ تسري مخترقة الغلاف الجوي من الخارج الى الداخل تقابل في اول الامر طبقات كثافة الغاز فيها ضئيلة جداً وكلما تعمقت في الغلاف الجوي كلما زادت كثافة الغاز وتكون النتيجة ان كمية الالكترونات الحرة المنتجة بفعل الطاقة التي تحملها الاشعة تكون بسيطة في الطبقات الخارجية للغلاف الجوى وتزداد كثافتها بازدياد كثافة الغاز . بعد ذلك تضعف الاشعة نتيجة لفقدانها الطاقة فتبدأ درجة كثافة الالكترونات الحرة في الانخفاض الى ان تُستهلك الاشعة كلية .

اذن فكثافة الالكترونات الحرة ليست ثابتة القيمة في جميع اجزاء

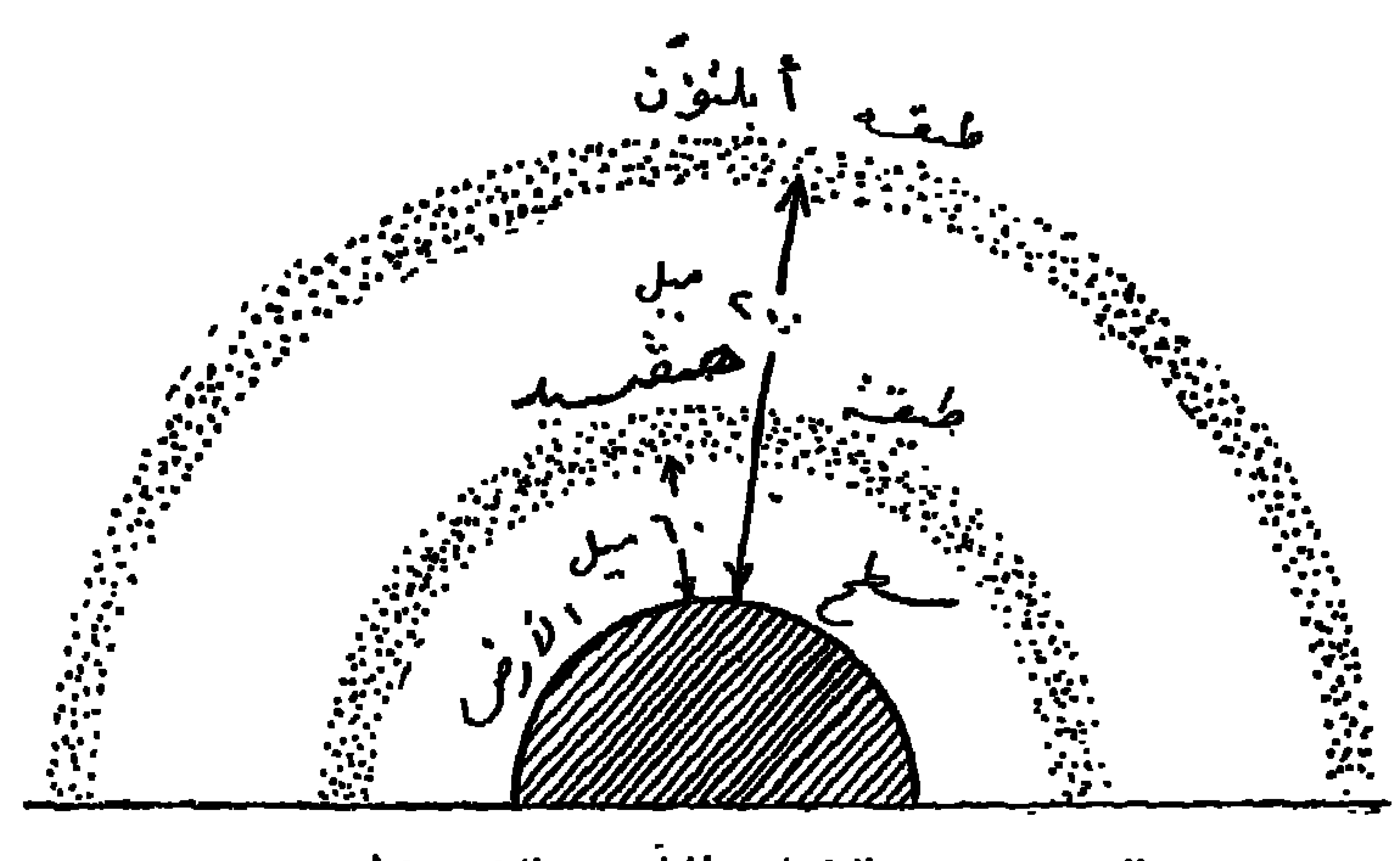
المنطقة التي تضم غازات متأينة: فهي ضئيلة جداً عند الاطراف العليا والسفلى للمنطقة المتأينة وعظيمة جداً في منتصف هذه المنطقة. وعملية التأين تحدث على ارتفاعات مختلفة في الغلاف الجوي حيث يسود نوع خاص من الغازات على كل ارتفاع فتتكون طبقات تمتص فيها الاشعاعات ذات الذبذبات المختلفة المناسبة لكل طبقة .

ومن الاهمية بمكان ان نذكر دائما ان الغازات المتأينة ليست موزعة بانتظام خلال المنطقة المتأينة بل هي تقع في طبقات لكل منها خواص تختلف عن الاخرى. ولم تعرف الى الآن بوضوح الحالة الطبيعية للجو بين الطبقات المتأينة المعروفة حتى الآن ، الا انه يمكن القول ان كثافة الالكترونات الحرة بين الطبقات المتأينة المعروفة اقل بكثير من كثافتها في في هذه الطبقات .

ولقد تمكن العلماء من ان يجدوا اسباباً كثيرة لوقوع الطبقات المتأينة المختلفة على الارتفاعات المعروفة حالياً إلا انه مازال هناك الكثير من الامور لم يلق عليه الضوء الكافي بعد، ولكن يبدو ان الغاز السائد في الجزء الخارجي للغلاف الجوي المحيط بالكرة الارضية هو الأزوت ويتأين هذا الغاز بواسطة موجات قصيرة جداً تدخل في مجموعة الاشعة فوق البنفسجية وطولها حوالي ٠٠٠٠٠٠٨٥و٠ سم. وهذا الغاز المتأين يكون اعلا طبقة متأينة معروفة حتى الآن .وهي تقع على ارتفاع يتراوح بين ٢٠٠ و٣٠٠ ميل فوق سطح الارض .

وهذه الطبقة تسمى طبقة ابلتون نسبة الى مكتشفها السير ادوارد

ابلتون . وهى تسمى كذلك طبقة F وتعتبر العامل الاساسي الذي يسبب انكسار الموجات القصيرة ويجعلها تنعكس . ومما يجدر ذكره ان السير ادوارد ابلتون هو الذي اشار باستخدام الحروف للدلالة على الطبقات المختلفة



الشكل (٥٦) الطبقات المتأينة في الغلاف الجوي

فسميت طبقة هيفيسيد طبقة E كما سميت الطبقة التي تليها في الانخفاض طبقة D ، ويعلل سير ادوارد ذلك الاختيار بانه يريد ان يترك حروفا كثيرة تحت تصرف علماء المستقبل ليسموا بها الطبقات المنتظر اكتشافها اعلا من طبقة F واوطى من طبقة D .

والشكل (٥٦) يبين الطبقات المتأينة في الغلاف الجوي في ليلة من ليالي الصيف .

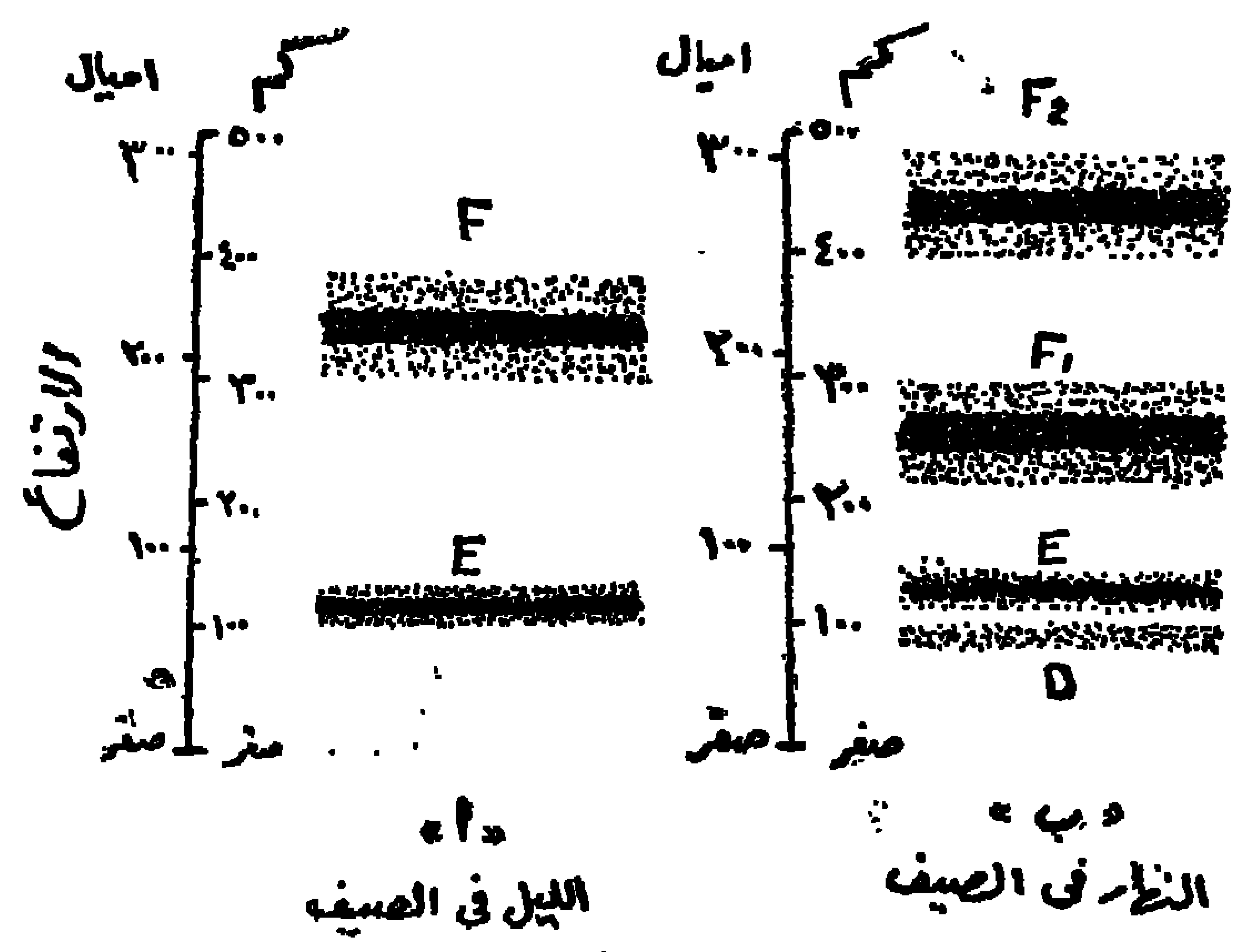
وتمر الموجات فوق البنفسجية الاطول خلال طبقة F دون أن تفقد اية كمية تذكر من الطاقة وتستمر في سيرها حتى تصل الى ارتفاعات اقل حيث تقابل انواع اخرى من الغازات : فهى اذ تصل الى ارتفاع ٩٠ ميلاً

فوق سطح الارض تقريباً تقابل جزيئات الاكسوجين ذات الكثافة الآخذة في الازدياد . ويتم تأين هذه الجزيئات بموجات يبلغ طولها حوالي ٠٠٠٠٠١١و٠ سم. ولهذا عرف ان طبقة كنللي وهيفيسيد أو طبقة E تقع على ارتفاع يتراوح بين ٥٠ و٩٠ ميلا فوق سطح الارض، ولهذه الطبقة تأثير لا بأس به على الموجات القصيرة . وعلى ارتفاع ٣٨ ميلاً فوق سطح الارض تقريباً تُمتص بعض الاشعة التي تقارب في ترددها تردد اشعة الضوء المنظور مما يسبب تأين الغازات على هذا الارتفاع وظهور طبقة اخرى في المنطقة المتأينة تسمى الطبقة D . اما على الارتفاعات الاقل من ٣٨ميلاً فلم يقم الدليل بعد على وجود أي تركيز لغازات قد ينشأ عنه طبقة جديدة دائمة الوجود في المنطقة المتأينة .

تتبقى لنا بعد ذلك تلك الكمية من الاشعة الشمسية التي انبعثت من الشمس ولم تمتص في المنطقة المتأينة بل واصلت طريقها حتى سطح الارض وهذه الاشعة تضم حزمة من الموجات يدخل ضمن نطاقها موجات الضوء المنظور وموجات الحرارة ويبلغ طول اقصرها ٠٠٠٠٣و٠ سم. واطولها ٠٠٠٢٥و٠ سم. اما الموجات الاطول من ذلك فانها تمتص في بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي. ولننظر الآن الى الشكل (٥٧) حيث يرى رسم توضيحي للطبقات المتأينة المختلفة التي اتى ذكرها حتى الآن، وهذا الرسم يساعد كثيراً على تكوين فكرة جيدة عن تركيب المنطقة المتأينة .

وهذا الشكل يبين لنا تغير تركيب المنطقة المتأينة بين الليل والنهار في فصل الصيف : فطبقة F تبدو في الليل منفردة في قمة المنطقة المتأينة بينما

تقع طبقة E أسفلها وتكون كثافة الالكترونات فيها ليلا اقل بكثير من وقت النهار اما طبقة D فلا تظهر قطعياً اثناء الليل . فاذا طلع النهار انقسمت طبقة F الى طبقتين بسبب اعادة توزع الغازات وتسمى الطبقة العليا F 2 والطبقة السفلى F 1 . وتقع الطبقة F 1 السفلى على ارتفاع اقل من الارتفاع الذي كانت عليه طبقة F المنفردة اثناء الليل ، اما الطبقة F 2 فتبدو على



الشكل (٥٧) يبين تركيب المنطقة المتأينة وكيف يتغير من الليل الى النهار .

ارتفاع اعلا من ارتفاع طبقة F اثناء الليل في الصيف وأوطى منها في فصل الشتاء . واسفل هاتين الطبقتين تظهر الطبقة E وهذه لا يتغير ارتفاعها في النهار عنه في الليل، كذلك تظهر الطبقة الاخيرة D اثناء النهار .

طريقة جس المنطقة المتأينة : — لكي يسهل علينا فهم الطريقة المتبعة لجس المنطقة المتأينة وكشف خواصها علينا ان نبدأ بمعرفة السبب في التصرفات المختلفة لموجات الراديو حين تصل الى المنطقة المتأينة ومغايرتها

لتصرفاتها في الهواء العادي . ومثل هذا البحث معقد الى حد ما ولذلك سنقتصر على ذكر الحقائق المجردة التي توضح لنا السبب في انعكاس إشارة لاسلكية ترسل من الارض الى المنطقة المتأينة وعودتها كصدى لاسلكي الى الارض .

تتكون موجات الراديو كما عرفنا من خطوط قوى كهربائية في الفضاء مصحوبة دائما بخطوط قوى مغناطيسية، وعرفنا كذلك ان المجال الكهربائي لهذه الموجات دائم التغير وان معدل التغير يتوقف على تردد الموجة ، ونضيف الآن ان سرعة الموجة تتوقف على مقدار التيار الناتج من المجال الكهربائي المتذبذب . وفي الهواء العادي الذي يعتبر عازلا للكهرباء تكون الالكترونات مربوطة الى جزيئاته وبذلك لا يتسنى للموجة ان تثير الحركة في هذه الالكترونات كي ينتج تيار كهربائي ، ولهذا السبب تسري الموجات في الهواء العادي بسرعة الضوء اي ٣٠٠ مليون متر في الثانية ولكنها لاتسري بسرعة لانهائية لان هنالك تياراً من نوع آخر يشبه التيار العادي وينتج من التغير المستمر في شدة واتجاه المجال الكهربائي ويسمى **تيار الانتقال** وهو الذي يحدُّ من سرعة الموجة . ولكن الموقف يتغير حين تسري هذه الموجات اللاسلكية فى الهواء المتأين وذلك لان بعض الالكترونات تستطيع ان تنفلت من جزيئات الهواء في المنطقة المتأينة وتصبح حرة فيلعب المجال الكهربائي دوره بأن يثير هذه الالكترونات ويجعلها تتذبذب بنفس ذبذبة الموجة فينشأ تيار كهربائي حقيقي يميل الى الغاء تيار الانتقال ويسمى **تيار التوصيل**، والنتيجة هي تغير سرعة الموجة لأن التيار الكلي

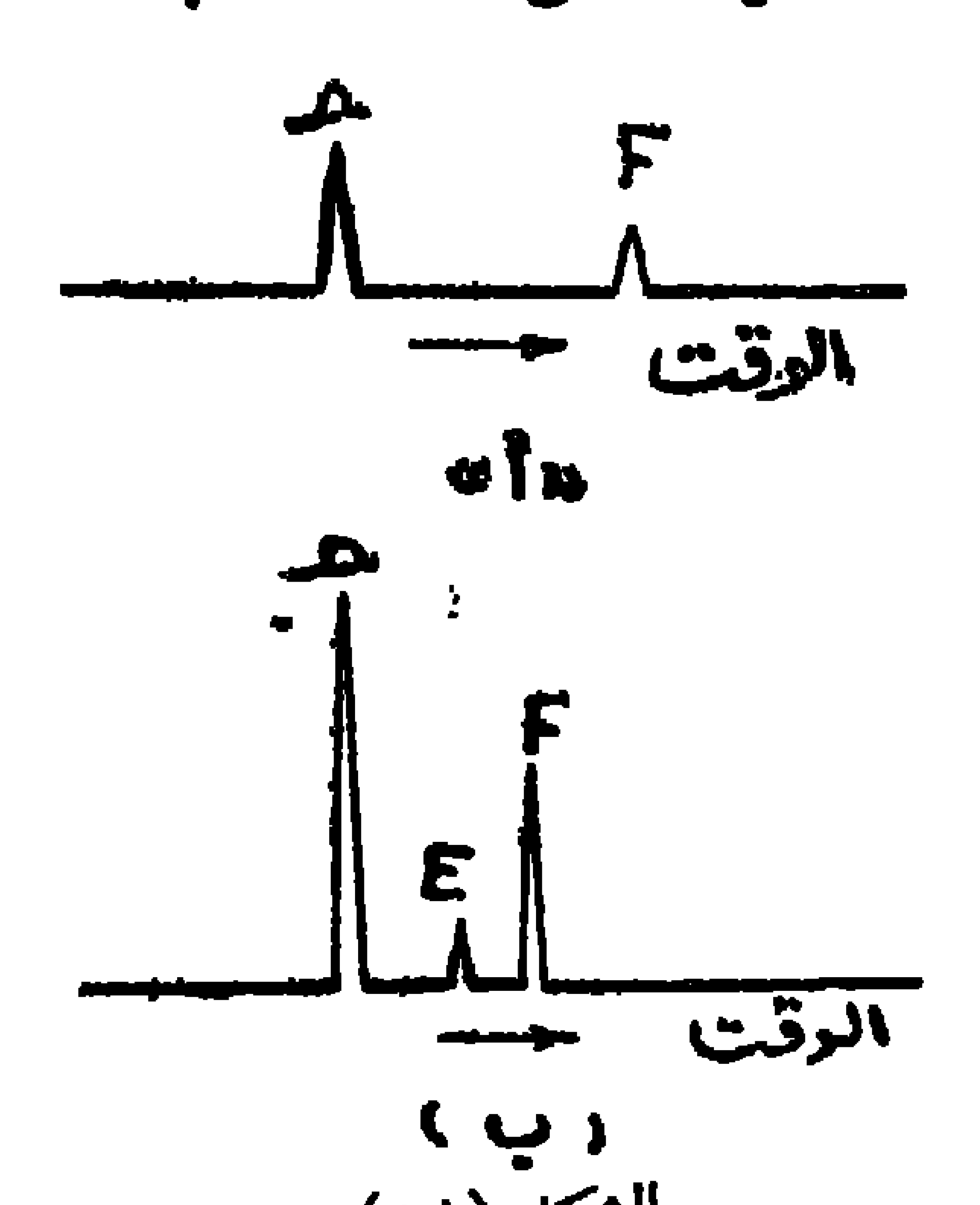
الناتج من المجال الكهربائي في المنطقة المتأينة يختلف عن التيار الكلي الذي كان موجوداً في الهواء العادي ، ففي المنطقة المتأينة تتوقف سرعة الموجة على درجة كثافة الالكترونات الحرة او بتعبير آخر على شدة تيار التوصيل الناتج . والاشارة التي تستخدم في قياس ارتفاع المنطقة المتأينة وكشفها عبارة عن دَفْعة قصيرة جداً وحادة من الطاقة يمكن تشبيهها بالنقطة في اصطلاحات مورس ، وهذه الدفعة تستمر مدة لاتزيد على بضعة اجزاء على الف من الثانية الا ان هذه الفترة البسيطة كافية لانبعاث بضع موجات كاملة اذا كان ترددها عالياً ، ولذلك فان الدفعة تتكون من مجموعة صغيرة او قطار من هذه الموجات . ولنحاول الآن ان نتابع هذه الدفعة في رحلتها الى المنطقة المتأينة : تصعد الدفعة أو قطار الموجات من هوائي المرسل الخاص رأسياً الى اعلا متحركة بسرعة الضوء حتى تصل الى الطبقة التي تحوي هواءً متأيناً فتؤثر في الالكترونات الحرة وتجعلها تتذبذب وينشأ عن هذه الذبذبة تيار التوصيل الذي يؤثر في الدفعة فيلغي جزءاً من تيار الانتقال الذي تكلمنا عنه فتنخفض سرعة الدفعة عما كانت عليه في الهواء العادي . وكلما تعمقت الدفعة في المنطقة المتأينة ازدادت كثافة الالكترونات الحرة فيزداد تيار التوصيل شدة وتكمل الدفعة رحلتها الى أعلا بسرعة متناقصة بمعدل عال حتى اذا ما وصلت درجة كثافة الالكترونات الحرة التي تقابلها الدفعة في رحلتها الى حد معلوم توقفت الدفعة نهائياً عن السير وهي ما زالت داخل نطاق المنطقة المتأينة، ويستمر هذا التوقف مدة لايستطيع العقل البشري ان يتصور قصرها ثم تأخذ الدفعة بعد ذلك في الدوران

الكامل او الانعكاس بادئة رحلة جديدة مبتعدة عن المنطقة التي وصلت فيها كثافة الالكترونات الحرة الى هذه الدرجة الكبيرة ومتجهة الى الطبقات التي تقل فيها كثافة الالكترونات الحرة حتى تصل الى الحدود السفلى للمنطقة المتأينة ، ومن هناك تأخذ سرعتها في الازدياد وتبرز من الطبقة الاخيرة في المنطقة المتأينة متجهة الى سطح الارض بسرعة الضوء ثانياً . اذن فيمكن ان نتصور الدفعة وهي تصعد رأسياً الى المنطقة المتأينة ثم تهدىء من سرعتها حين تصل الى هذه المنطقة ثم تنعكس عائدة الى الارض ثانياً . وهذا الانعكاس يشبه الى حد كبير انعكاس الاشعة الضوئية من مرآة أو سطح معدني كما يمكن تشبيه درجة كثافة الالكترونات الحرة الضرورية لاحداث هذا الانعكاس بخاصية في المرآة تسبب انعكاس الضوء . ولهذا السبب سميت هذه الكثافة « كثافة المرآة للالكترونات ».

ولنفرض الآن اننا جهزنا المرسل كي يرسل هذه الدفعة الى اعلا مباشرة كما جهزنا مستقبلا لاسلكياً ووصلناه بانبوبة شعاع المهبط مجهزة تجهيزاً خاصا ، فالمطلوب هو قياس الوقت الذي تستغرقه الدفعة في رحلتها الى المنطقة المتأينة ثم عودتها ثانياً . ونحن اذ نعرف سرعة الدفعة خلال معظم الرحلة سوف نتمكن من معرفة الارتفاع الذي انعكست منه هذه الدفعة. وبالطبع لن يزيد الوقت الذي تستغرقه رحلتا الذهاب والاياب عن بضعة اجزاء على الف من الثانية ولذلك ليس في الامكان الاصغاء الى صدى الاشارة حين يعود الى المستقبل، ولهذا السبب وصلنا المستقبل بانبوبة شعاع المهبط حتى يمكن رؤية هذا الصدى حال رجوعه على شاشة الانبوبة . فتبدأ العملية

بارسال دفعة من المرسل الى المستقبل في نفس اللحظة التي تخرج فيها الدفعة المباشرة من المرسل الى المنطقة المتأينة ، وبعد لحظة قصيرة يصل الصدى الى المستقبل منعكساً من المنطقة المتأينة . ونظراً لأن البقعة المضيئة تتحرك على وجه انبوبة شعاع المهبط من اليسار الى اليمين بسرعة معروفة ، تظهر على الشاشة اشكال كالموضحة في الشكل (٥٨) ا ، ب .

ففي الشكل ا : جـ تمثل الدفعة التي وصلت الى المستقبل من المرسل في نفس اللحظة التي ارسلت فيها الدفعة المباشرة الى المنطقة المتأينة ، F تمثل الصدى الذي عاد بعد لحظة قصيرة. ولمعرفتنا سرعة تحرك البقعة المضيئة يمكن تقدير الوقت الذي يتناسب مع البعد بين جـ ، F . وهذا هو نفس الوقت الذي استغرقته رحلة الدفعة الى المنطقة المتأينة ثم عودة الصدى الى سطح الارض . فاذا ضربنا هذا الرقم في سرعة الضوء لعرفنا المسافة التي قطعتها الدفعة في الرحلتين ، ويكون ارتفاع المنطقة التي انعكست منها الدفعة هو نصف هذه المسافة . ومن الشكل (٥٨) ب يتضح ان بعض الطاقة قد انعكست من الطبقة E رغما عن ان معظم الطاقة قد انعكست من الطبقة F ويظهر ذلك من مقارنة



الشكل (٥٨)
عودة الاصداء في ا : من طبقة F وفي ب: من طبقة F وطبقة E ، أما جـ فهي الدفعة الاصلية التي استقبلت في نفس اللحظة التي ارسلت فيها الى المنطقة المتأينة .

ارتفاع الكسرتين وبُعد كل منهما عن نقطة الابتداء . وفي الاستخدام العملي لانبوبة شعاع المهبط لهذا الغرض يدرج المقياس المثبت اسفل الأثر الى ارتفاعات بدلا من تدريجه بالنسبة الى الوقت .

والآن نصل الى احدى النقط الهامة : حين تؤثر سلسلة الموجات أو الدفعة الصادرة من المرسل في الالكترونات الحرة وتجعلها تتذبذب فان هذه الذبذبة تتناسب تناسباً عكسياً مع تردد الدفعة اذ كلما قصرت الموجة أي زاد ترددها كلما قلت ذبذبة الالكترونات وبالتالي قل تأثيرها على الدفعة من حيث خفضها لسرعتها . وهذا يعني انه لوكانت الدفعة التي أرسلت من الارض ذات تردد واطى فان سرعتها تنخفض بسرعة فترتد من طبقة منخفضة في المنطقة المتأينة والعكس بالعكس . وبكلمات اخرى لما كان التأثير الالكتروني على الموجات الطويلة اعظم منه على الموجات القصيرة فالامر لايحتاج الى درجة عالية من كثافة الالكترونات الحرة كي تنعكس الموجات الطويلة ، على عكس الموجات القصيرة اذ تحتاج الى درجة عالية من كثافة الالكترونات الحرة كي تؤثر في الدفعة وتجعلها تنعكس بعد ان تنخفض سرعتها الى الصفر.

وهذه الحقيقة هامة جداً ليس فقط بالنسبة الى قياس ارتفاعات المنطقة المتأينة بل كذلك في عمليات الاتصال اللاسلكي بالموجات القصيرة فكلما قصرت الموجة أصبحت اقدر على اختراق طبقات المنطقة المتأينة التي تقع على الارتفاعات الكبيرة قبل ان تضطر الى الانعكاس بتأثير ازدياد كثافة الالكترونات . وهناك حد أعلا لتردد الموجات التي تنعكس من

المنطقة المتأينة ويتناسب هذا الحد مع اعلا درجة كثافة للالكترونات الحرة ، واطلق سير ادوارد ابلتون على هذا الحد الأعلى للتردد اسم « التردد الحرج » . ولجس المنطقة المتأينة ترسل مجموعات كاملة من الدفعات ، فترسل اولا دفعات ذات تردد منخفض تتبع بدفعات ترددها أعلا وهكذا تدريجياً ، وعلى شاشة انبوبة شعاع المهبط تقرأ الارتفاعات المختلفة التي تصل منها اصداء كل نوع من الدفعات .

فاذا بدأنا بارسال موجات ترددها ميجاسيكل واحد لا نحصل على اي صدى وذلك لأن الموجة تكون طويلة جداً وتمتص كل طاقتها في طبقة D المنخفضة . حتى اذا ما وصل تردد الدفعات الى ١و٧ ميجاسيكل بدأت الانعكاسات من ارتفاع ١١٠ كيلومتر ويستمر وصول الاصداء من هذا الارتفاع حتى يصل تردد الدفعات المرسلة الى ٢و٨ ميجاسيكل فيزداد الارتفاع الذي تصل منه الاصداء تدريجياً. ولقد عرف ان كل الاصداء التي ترجع نتيجة للدفعات التي ينحصر ترددها بين ١و٧ و٢و٨ ميجاسيكل تنعكس من الجزء الاسفل لطبقة E المتأينة ، اما طبقة D فانها لا تعكس أصداء قطعياً بل تمتص طاقة الموجات المرسلة . فاذا زاد التردد عن ٢و٨ ميجاسيكل زاد تعمق الدفعات المرسلة في طبقة E حتى اذا ما وصل التردد الى اكثر من ٢و٣ ميجاسيكل تمكنت الدفعات من النفوذ من طبقة E صاعدة الى طبقة F 1 ، ولذلك يعتبر ٢و٣ ميجاسيكل هو التردد الحرج للطبقة E . وبارتفاع التردد عن ٢و٣ ميجا سيكل تأخذ الاصداء في الارتداد من الطبقة F 1 ولكن بدون انتظام حتى يصبح تردد الدفعات

المرسلة ٣ ١/٢ ميجاسيكل فيسجل القياس ارتفاعا قدره ٢٢٠ كيلومتراً وهو ارتفاع الطبقة F 1 على وجه التقريب، وعند ٢ و٤ ميجاسيكل وهو التردد الحرج في الطبقة F 1 تخترق الدفعات المرسلة هذه الطبقـة صاعدة الى زميلتها الطبقة F 2 ، وفي فصل الشتاء لا يلحظ فرقـ كبير بين ارتفاع الطبقة F 1 والطبقة F 2، فاذا زاد التردد عن ٢ و٤ ميجاسيكل اخذت الدفعات تتعمق فى الطبقة F 2 بينما يزداد الارتفاع الذي تصل منه الاصداء حتى يجاوز التردد ٤ و١٠ ميجاسيكل وهو التردد الحرج للطبقة F 2 فلا تصل اي أصداء دلالة على أن الدفعات بدأت تخترق هذه الطبقة وتسري خارج المنطقة المتأينة .

وفي الرادار لا نعتمد على طبقات الجو المتأينة لتعكس لنا الموجات التي نرسلها لمعرفة مسافات الاهداف . ولا بد انكم قد لاحظتم وجه الشبه الغريب بين طريقة جس المنطقة المتأينة وبين طريقة قياس المسافات بواسطة الرادار : فارسال دفعة لاسلكية رأسياً الى اعلا ثم قياس الوقت الذي استغرقته رحلة هذه الدفعة الى المنطقة المتأينة وعودة الصدى تمكن العلماء كما رأينا من قياس الارتفاعات بالضبط طالما أنه معروف ان كل ٧و٦ ميكروثانية تقابل الف متر أو ١و٦ ميكروثانية تقابل الف ياردة .

وهناك فتح جديد سار جنباً الى جنب مع جس المنطقة المتأينة : فمن بين العوامل التي تعوقـ الاتصال المجدي بالموجات اللاسلكية القصيرة يوجد عامل خطير وهو التداخل المزعج الذي يقلل من وضوح الاستقبال بسبب تقلب الاحوال الجوية خصوصاً اثناء هبوب العواصف وهطول

الامطار Atmospherics ، فاذا كان هذا التداخل قوياً سُمع صوت في جهاز الاستقبال بشوّش على الاذاعة وهو يشبه الصوت الناتج من تقطيع الاقمشة السميكة بالايدي ، فاذا كان هذا التشويش مخففا كان صوته مشابها للصوت الناتج من قلي قطعة من اللحم في سمن مقدوح الى درجة الغليان . ولذلك اتجه التفكير الى ضرورة اكتشاف المواطن التي تسبب مثل هذا التداخل حتى يمكن تجنبها اثناء مد خطوط مواصلات الموجة القصيرة . ولتنفيذ هذه الفكرة استخدمت انبوبة شعاع المهبط مرة اخرى وقام سير روبرت واطسون وات بنصيب كبير في هذا التنفيذ بتجاربه التي اجراها في معمل الطبيعيات الأهلي بانجلترا ، فحاول ومن معه اكتشاف اتجاهات ومسافات المواطن التي يصدر منها هذا التداخل . وفي نفس الوقت الذي كانت تجري فيه هذه المحاولات كانت تحدث تطورات جديدة تختلف عنها اختلافا جوهرياً اذ ركب جهاز لارسال الدفعات اللاسلكية في طائرة وكان هذا الجهاز يرسل الدفعات الى الارض التي تعكسها كصدى لاسلكي يرتد الى نقطة الارسال. وامكن بتوقيت رحلة هذه الدفعات ذهاباً وايابا وباستخدام انبوبة شعاع المهبط ان يعرف الطيار ارتفاعه عن سطح الارض التي يطير فوقها ، وكان هذا الاختراع هو الاساس لمقياس الارتفاع المطلق ولصندوق الانباء اللذين سيأتى ذكرهما بالتفصيل في الفصل القادم .

وبينما هذه الاختراعات تتوالى اكتشفت طبقة جديدة من الموجات اللاسلكية وهي الموجات فوق القصيرة ويقل طولها عن عشرة امتار .

وكان ظهورها في وقت اشتدت فيه الحاجة اليها كي تُستخدم في اختراع التلفزيون . وقد قامت في بادىء الامر صعوبات فنية كبيرة حول امكان ارسال هذه الموجات الا انه سرعان ما تم التلغب على هذه الصعوبات. وفي ايامنا هذه ظهر نوع احدث من الموجات وهو ما يسمى الموجات السنتيمترية وتقاس اطوالها لا بالامتار ولكن بالسنتيمترات ومثل هذه الموجات هي التي تستخدم في احدث اجهزة الرادار ، ولقد اوشكت التجارب التي تجري لاستخدام موجات طولها سنتيمتراً واحداً أن تكلل بالنجاح . والسبب في استخدام الموجات فوق القصيرة والموجات السنتيمترية في الرادار هو انها تسبب عودة اصداء قوية من الاهداف الصغيرة البعيدة نسبياً كالطائرات والسفن . وكان للابحاث الخاصة بالتلفزيون قيمة كبيرة في تطور الرادار اذ انها ادت الى اثبات امكان ارسال مثل هذه الموجات القصيرة جداً والاستفادة منها ، وفي اجهزة الرادار الاولى كانت تستخدم الموجات فوق القصيرة ولكن وجد انه باستخدام موجات سنتيمترية يمكن الحصول على نتائج اوفى وادق .

فهذه الموجات السنتيمترية اذ تنبعث من المرسل تتجمع في شعاع ضيق مركز مما يساعد كثيراً على جعل المعلومات المنتجة من الرادار دقيقة الى اقصى حد . ولم يتيسر استخدام هذه الموجات على نطاق واسع إلا في مايو عام ١٩٤٥ حين تمكن كل من الاستاذ راندال J. T. Randall والدكتور بوت H. A. Boot من جامعة برمنجهام بانجلترا من ابتكار نوع من الصمامات قادر على انتاج موجات سنتيمترية ذات قوة عالية جداً

اما قبل ذلك التاريخ فلم يكن هناك صمام معروف يستطيع ان يتحمل تردد هذه الموجات . وهذا الصمام الجديد واسمه « الماجنترون » هو الصمام الاساسي في كل اجهزة الرادار الحديثة التي تستخدم الموجات السنتيمترية . ولكن هذا الكلام عن ظهور الماجنترون ليس وافياً تماماً واليكم قصته بمنتهى الايجاز والدقة رأيت ان اسردها نظراً لما اصبح عليه هذا الصمام من الاهمية الآن ولما أداه من الخدمات في الحرب الاخيرة :

قصة الماجنترون الأجوف Cavity Magnetron : يعتبر اختراعه ولا شك من اعظم النتائج العلمية الخاصة التي ظهرت في الحرب الاخيرة وقد يجوز لنا القول أن الرادار الذي استخدم في معركة بريطانيا عام ١٩٤٠ قد سجل صفحات مشرفة في التاريخ رغم عيوب كثيرة كانت فيه ، ولكن كان واضحاً جداً ان نوعا جديداً من الرادار يجب ان ينتج حالا ليواجه مطالب ملحة تنتظره ، وكانت معركة الاطلنطي هي اول ميدان ظهر فيه الرادار الجديد المزود بالماجنترون ، وكان من شأن استخدامه ان هبطت الخسائر التي كان يعانيها الحلفاء في السفن بفعل غواصات العدو الى مستوى ضئيل جداً .

كان المطلوب ابان معركة بريطانيا هو رادار يُركّب فى الطائرات وينتج شعاعا ضيقاً من الدفعات التي تتكون من موجات سنتيمترية (حتى لا تضطر الطائرات الى تخفيض سرعتها لو استخدمت موجات فوق القصيرة نظراً لأن الهوائيات ذات الخواص الاتجاهية في هذه الحالة تكون كبيرة في الحجم والوزن) .

ولما كان جزء ضئيل جداً من الاشارة التي يشعها مرسل الرادار

هو الذي يصل الى الهدف البعيد وينعكس منه كما ان جزء ضئيل من هذا الجزء الضئيل هو الذي يتمكن مستقبل الرادار من التقاطه ، فان الأمر كان يدعو الى استخدام مرسل ذو قوة هائلة تفوق بضع مرات اعظم قوة استخدمت في اجهزة لاسلكية قبل بدء الحرب العالمية الاخيرة . ومن هنا نشأت معضلة عويصة : فإن الطريقة الطبيعية لتخفيض طول الموجة هي تصغير حجم المهتز Oscillator الذي يولد



« الماجنترون المعروف برقم CV ٥٦ وبجواره المغنطيس الذي يحيط بالمصمد. وهذا النوع هو الذي يستخدم في جهاز رادار الدفاع الساحلي الخاص بالانذار المبكر » .

هذه الموجات بينما الطريقة الطبيعية لتضخيم القوة الكهربائية هي تكبير حجم هذا المولد حتى لا يحترق بفعل القوة الداخلة اليه والتي لا يتم تحويلها بأجمعها الى نتاج مفيد خارج منه . ومما عقد الأمور ان جزء القوة الداخلة الذي لا يتحول الى نتاج مفيد خارج يميل الى ان يكوّن النسبة الغالبة في حالة الموجات السنتيمترية الطول.

ولحل هذه المعضلة اخترع صمام الكليسترون Klystron في اميركا وامكن باستخدامه التغلب على مشكلة زمن مرور الالكترونات عبر الصمام Transit time لانه في حالة الموجات السنتيمترية يكون اطول من فترة الموجة الزمنية وذلك في الصمامات العادية ، كما ان نجاح استخدامه اثبت قيمة الفائدة التي تجني من ادماج الدائرة المولفة Tuned Circuit (وهي في حالة الكليسترون عبارة عن مهتز رنان أجوف cavity resonator عالي القدرة) في صلب الصمام واثارتها مباشرة بواسطة شعاع الالكترونات . الا ان شعاع الالكترونات في الكليسترون لم يكن ليستطيع تقديم القوة الكهربائية المطلوبة حتى ولو كان الناتج عبارة عن دفعات وليست موجات مستمرة . وكان هنالك ماجنترون في ذلك الوقت الا ان القوة الناتجة منه لم تكن تتعدى بضعة واتات .

وفي عام ١٩٣٩ كان راندال وبوت يعتنقان فكرة اساسها ربط نظرية الماجنترون بنظرية المهتز الرنان الاجوف الذي يثار مباشرة بواسطة تيار الالكترونات (كلمة ماجنترون تدل على ان مغناطيسا يستخدم لحرف مسار الالكترونات ولا أريد بعد أن دخلنا في هذه التفصيلات الفنية السطحية ان نتعمق الى ما هو أبعد منها بشرح نظرية الماجنترون فعلا ، ولكن بعد قليل سأشبع نهم من يستهويهم مثل هذا البحث بسرد شرح عام جداً للطريقة التي يعمل بها هذا الصمام) وكانا واثقان من أن مثل هذا العمل يؤدي الى انتاج صمام يولد موجات سنتيمترية ذات قوة ضخمة .

وسرعان ما وضعا تصميم صمام تجريبي يعمل على موجة طولها ١٠سم . وكان هذا في نوفمبر سنة ١٩٣٩ . ولم تمض ثلاثة شهور حتى كان هذا الصمام قد تم صنعه في معملهما وجرب فانتج موجات مستمرة طولها ٩٫٨ سم . بقوة قدرها ٥٠٠ وات مما أقنع المخترعين بصواب نظريتهما . وفي يونيو عام ١٩٤٠ ظهر أول صمام من نوع الماجنترون الأجوف وكانت قوة القمة للنتاج الخارج منه حوالي ١٠ كيلووات، وارسل احد هذه الصمامات الى الولايات المتحدة ، حتى اذا كانت سنة ١٩٤٥ صنعت شركة طومسون هوستون ماجنترونا يولد موجات طولها ١٠سم . (اي بتردد قدره ٣٠٠٠ميجاسيكل) ذات قوة قدرها ٢٥٠٠ كيلووات ، ولكن يجب ان نذكر ان هذه القوة هي قوة القمة للموجة Peak Power وتُنتج بدفعات Peak or Pulse Rating تستمر كل واحدة ميكروثانية فقط بمعدل تكرار يقارب ١٠٠٠ دفعة في الثانية . اي ان متوسط القوة الناتجة لم يكن ليزيد عن ٢٥٠٠ وات فعلا . والماجنترون لو قورن بالصمامات الاخرى العادية لظهر أنه جهاز عجيب حقاً في منتهى البساطة : فهو يتركب من مهبط مستقيم محاط بمصعد اسطواني الشكل مقسم الى عدة اقسام segments وفي الفراغ المحيط به يوجد مجال مغناطيسي منتظم يعمل في موازاة المهبط . فإذا وضع جهد موجب على المصعد تسري الإلكترونات المنبعثة من المهبط في مسارات مستقيمة قطرية (أي في اتجاه قطر الدائرة التي مركزها المهبط) ، ولكن هذه الالكترونات لا تكاد تقطع مسافة بسيطة في مساراتها المستقيمة هذه حتى تقع تحت تأثير المجال المغناطيسي الذي يدفعها الى اتخاذ مسارات

منحنية وبعضها يستقر على اقسام المصعد التي هى عبارة عن المهتز الرنان الاجوف فتكسبه طاقة تجعله يبدأ في الذبذبة بالتردد العالي جداً (٣٠٠٠ ميجاسيكل في الثانية) . والى هنا ولست في حل من الخوض أبعد من ذلك ولكن في ذلك الشرح الكفاية على أي الحالات .

اذن فالموقف العلمي الذي كان موجوداً قبل نشوب الحرب الاخيرة ببضع سنوات يمكن تلخيصه في الآتي :

اكتشفت الموجات فوق القصيرة وتم استخدامها بنجاح تام . وكان قياس الطبقات المختلفة في المنطقة المتأينة قد تم بطريقة الاصداء اللاسلكية وباستخدام انبوبة شعاع المهبط ، كما تمكن العلماء من اكتشاف مصادر التداخل في الاستقبال اللاسلكي بقياس اتجاهات ومسافات المواطن التي يأتى منها هذا التداخل وذلك بمعونة انبوبة شعاع المهبط ايضاً . ثم تولدت فكرة قياس ارتفاع الطائرات بان ترسل هذه الطائرات دفعات لاسلكية ثم تستقبل الاصداء المنعكسة من سطح الارض نتيجة لهذه الدفعات وذلك بطريقة مشابهة لطريقة قياس الاعماق بواسطة صدى الصوت وهي الطريقة المتبعة في البحرية . واخيراً لوحظ ان الموجات فوق القصيرة كانت تتفرق اذا اصطدمت بهدف غير مستوى السطح فلا يعود منها إلا صدى ضعيف مرتداً الى مصدر الارسال. ولم يكن استقبال مثل هذا الصدى مستطاعاً الا بتكبيره الى حد ضخم على ان يكون المستقبل ذا حساسية شديدة. اي ان الجو العلمي كان مهيأ حوالي عام ١٩٣٠ (لوجود كل هذه الاختراعات التي سردت وحدوث كل هذه التطورات العلمية) لاختراع جهاز يمكن بواسطته تعيين

محل الطائرة اثناء طيرانها أو المركب الحربية وهي تمخر عباب البحر بتوقيت عودة الصدى اللاسلكي الناتج من ارسال موجات فوق القصيرة . ولكن معظم العلماء كانوا يعتقدون ان مثل هذا الجهاز (الذي يراد استخدامه بالطبع في العمليات الحربية) لن يستطيع احتمال اهوال المعارك البرية او البحرية ، فهو لن يكون الا جهازاً رقيقاً لا يستطيع ان يؤدي المطلوب منه بدقة كافية اذا تعرض للتقلبات الجوية او للاهتزازات الناشئة من قصف المدافع وانفجار القنابل ، هذا اذا هو لم يتعطل كلية عن العمل .

وكان من حسن حظ بريطانيا ان العلماء الذين كانوا يفكرون بالعقلية السابق ذكرها نشروا افكارهم في الدول المعادية لبريطانيا اذ كانوا منها الا ان هذا لم يمنع هذه الدول من ان تبذل بعض الجهود لاختراع الرادار في الفترة التي سبقت نشوب الحرب ولكن يبدو ان ما بذل من جهد ومال في هذا المضمار لم يكن كافيا لانتاج الجهاز المرجو الذي يستطيع ان يفرض لنفسه دوراً رئيسياً في الدفاع والهجوم على السواء . وكان ظهور الرادار في بريطانيا واستخدامه في المرحلة الاولى للحرب بنجاح تام سببا دفع الدول المعادية لها الى اختراع اجهزة مماثلة الا ان ظهورها في الميدان جاء متأخراً فضلا عن انها ، لسوء حظ هذه الدول ، لم تكن قد وصلت الى حد الاتقان المطلوب والذي كانت عليه الاجهزة البريطانية والامريكية .

وكانت السلطات المسؤولة في بريطانيا سريعة وحاسمة في اقتناص الفرصة الذهبية التي اتاحها الرادار : فانجلترا بلاد مساحتها ضيقة نسبياً قد تركزت مراكز الصناعة فيها داخل مناطق محدودة مما يسهل على للانيا

ان تمحوها من الوجود بشن الغارات المتتالية عليها بقاذفات القنابل الثقيلة . ولقد تحقق اولو الامر ذوو النظر البعيد من انهم لن يستطيعوا بما تملكه بريطانيا من عدد بسيط من القاتلات التغلب على القوة الجوية الالمانية التي استفاضت شهرتها ومنع هذه القوة من اصابة البلاد بأفدح الاضرار واخطرها اثراً . كما ان الوقت كان ضيقاً قبل اندلاع لهيب الحرب فلم يكن لدى الانجليز الفرصة الكافية ، وبلادهم ذات قدرة محدودة في الانتاج ، كي يصنعوا العدد الكافي من الطائرات القاتلة والمدافع المضادة للطائرات، فضلاعن ان تدريب العدد اللازم من الرجال المتمرنين اللازمين للعمل في القاتلات وعلى المدافع كان يحتاج الى وقت طويل لم يكن متيسراً في تلك الآونة . ولذلك اتجهت الانظار الى الرادار كمنقذ سماوي هيأه الله عز وجل لهم فاتجه اليه الانجليز بكل مالديهم من ايمان يبتهلون اليه ان يعينهم على اخراج هذا الجهاز السحري الى حيز الوجود .

وفي عام ١٩٣٥ تقرر ان يسير العمل باسرع ما يمكن لانتاج الرادار كما وطن الانجليز انفسهم على الا يضنوا بأي مجهود أو ثمن في سبيل النجاح . وقد تم لهم ما ارادوا اذ سار العمل حثيثاً بادارة مجموعة صغيرة من افذاذ العلماء حتى انتهى الى النتيجة المطلوبة . وكان وجود الرادار في حوزة الانجليز عند نشوب الحرب من الاسباب الرئيسية لانقاذ بريطانيا من الدمار الشامل . وقد تم تجهيز اول محطة رادار في العالم في بريطانيا في خريف عام ١٩٣٥ وكان في امكان هذه المحطة ان تكتشف الطائرات على مسافة ٥٠ ميلا وتبعتها اربع محطات اخرى ثم ١٥ محطة وكانت هذه المحطات

في مجموعها تسمى سلسلة محطات الوطن C.H.S. (Chain home Stations)
ومنذ ذلك الوقت والعلماء جادون في ادخال التحسينات على الرادار
حتى امكنه فى عام ١٩٣٨ أن يشتبك مع طائرات على مسافة ١٥٠ ميلا .
وكان العمل يجري بهمة في انشاء محطات جديدة وكلما تمت واحدة سرعان
ما كانت تساهم فى مشروع الدفاع عن البلاد . واستمر العمل في انشاء
هذه المحطات حتى تم انشاء سلسلة منها على طول الساحل الشرقي والجنوبي
الشرقي لانجلترا فى ربيع عام ١٩٣٩ . فلما نشبت الحرب زُوّدَ بقية الساحل
باجهزة الرادار باسرع ما يمكن .

والى هذه المرحلة كان كل شيء يسير سيراً مرضياً خلا مشكلة
واحدة وهي ان الرادار لم يكن فى استطاعته التقاط الطائرات التي
تطير على ارتفاع منخفض . فبدأت الابحاث الفنية التي انتهت بابتكار
جهاز جديد لهذا الغرض وانشئت سلسلة جديدة من المحطات المزودة بهذا
الجهاز سميت سلسلة الطيران الواطى CHL (Chain Home low Flying)
وتيسر الفراغ من انشائها بعد ابتداء الحرب بمدة وجيزة .

❦

الفصل الثالث عشر

الرادار في الحرب

فيما سبق من الفصول قُسم الرادار بجميع انواعه الى قسمين رئيسيين: القسم الاول ويشمل اجهزة الانذار المبكر وهى التي تكتشف الاهداف على مسافات بعيدة وتعين اماكنها بتقريب غير مخل، والقسم الثاني ويشمل الاجهزة التي تعطينا المسافات الدقيقة والاتجاهات والزوايا للاهداف التي تظهر في داخل مدى المدافع المضادة للطائرات. ويضم كلا القسمين اجهزة مختلفة الانواع قد صُمم كل منها لتأدية غرض خاص، وقد امكن، باستخدام احدث اجهزة الرادار، تعيين محلات الاهداف البعيدة بمنتهى الدقة. وفي الحرب الاخيرة استخدم الرادار على أوسع نطاق وفي اغراض جمة كما أُدخل من التحسينات على انواعه المختلفة الشيء الكثير طوال مدة الحرب مما ادى الى ظهور انواع جديدة منه تفوق الانواع التي سبقتها بمراحل واسعة. وهذا التطور يعتبر بداية لعصر جديد سوف يسود فيه الرادار ويسيطر على معظم المرافق.

وفي الفصل السابق ذكرنا نبذة صغيرة عن جهاز قياس الارتفاع المطلق Absolute Altimeter جاء فيها انه باستخدام الموجات فوق

القصيرة يستطيع الطيار الذي زُودت طائرته بمثل هذا الجهاز ان يقيس ارتفاعه بالضبط من النقطة التي يطير فوقها في اي لحظة من اللحظات ، بينما هو لا يستطيع بواسطة جهاز قياس الارتفاع العادي إلا قياس ارتفاع الطائرة بالنسبة لمستوى سطح البحر المعروف أو بالنسبة لنقطة عامة ثابتة كمستوى سطح المطار الذي قام منه مثلا، وبعد ذلك يمكن للطيار بمعونة الخرائط التي معه ان يعرف على وجه التقريب ارتفاعه عن التلال او الجبال التي يقترب منها فيتجنب الاصطدام بها . ولكن الطامة الكبرى تحدث اذا ما ضل الطيار طريقه ولم يستطع تعيين محله على خريطته ، ففي هذه الحالة لن يتمكن من استنتاج الهيئات المرتفعة التي قد يصادفها ولا من معرفة ارتفاعه عن النقطة التي يكون طائراً فوقها في ذاك الوقت طالما انه لا يملك جهاز قياس الارتفاع المطلق . وفي الماضي حدثت مآسي مروعة نتيجة لفقدان الطيارين الطريق الصحيح فاصطدمت طائراتهم بالجبال والتلال وراحوا هم والركاب والطائرات ضحية لعدم وصول العلم الى المستوى العالي الذي وصل اليه الآن . وجهاز قياس الارتفاع المطلق ينذر الطيار حين يقترب من جبل مثلا وبذلك يعطيه فرصة كافية كي يتجنب الكارثة بالارتفاع الى اعلا . ثم اكتشفت الموجات السنتيمترية واستخدمت في اجهزة عجيبة سنسمع عنها على صفحات هذا الفصل حالا ، وباستخدام هذه الاجهزة الاخيرة يمكن للطيار ان يرى شكل الهيئات الارضية الفعلية التي يمر فوقها بطائرته وذلك على شاشة انبوبة شعاع المهبط .

في الشهور الاولى للحرب لم تكن هجمات قاذفات القنابل التابعة لسلاح الطيران البريطاني على مراكز الانتاج في الدول المعادية مؤثرة الى الحد الذي كان متوقعاً وذلك بسبب كثافة الضباب او انتشار السحب في بعض الاحيان فوق مناطق الاهداف كما ان العدو كان غالباً ما يلجأ الى عمل ستائر صناعية من الدخان فوق تلك المناطق ليخفيها عن المغيرين . ولم تمض مدة طويلة حتى جاء في النشرات الاخبارية ان لجوء العدو الى تغطية المراكز الصناعية بستائر الدخان ، او انتشار الضباب فوق مناطق الاهداف لم يعد يعوق القاذفات المهاجمة عن تسديد قنابلها بمنتهى الدقة ، كما ذكر في هذه النشرات ان السبب في هذا التطور هو استخدام آلات سرية جديدة . والآن نستطيع ان نقول ان اهم هذه الآلات كانت الآلة المعروفة باسم يد ٢ كب H_2S أو كبريتور الايدروجين ، وسميت بهذا الاسم أو الاصطلاح لبساطة تصميمها المتناهية التي تحاكي بساطة تركيب كبريتور الايدروجين . وفي بعض الاحيان كانت تسمى **الصندوق السحري** أو **صندوق الانباء** Gen Box . وهي عبارة عن جهاز رادار صغير من نوع خاص تحمله قاذفة القنابل ويمكن اعتبارها كمقابل لاسلكي لجهاز قياس المسافة بواسطة صدى الصوت وهو الجهاز المستخدم في المراكب . وبالطبع نحن نذكر جيداً كيف يعمل جهاز صدى الصوت هذا : فاثناء سير المركب على سطح الماء يرسل الجهاز دفعات صوتية الى قاع البحر فترتد هذه الدفعات كأصداء تُستقبل بواسطة جهاز دقيق ، ويحدّد العمق في اي

نقطة من النقط توقيت عودة الصدى ، وباستخدام جهاز تسجيل اوتوماتيكي يمكن إنتاج صورة بيانية لقاع البحر في المنطقة التي تسير فيها المركب بنفس الطريقة التي يسجل بها البارومتر الاوتوماتيكي تغير الاحوال الجوية تسجيلا بيانياً .

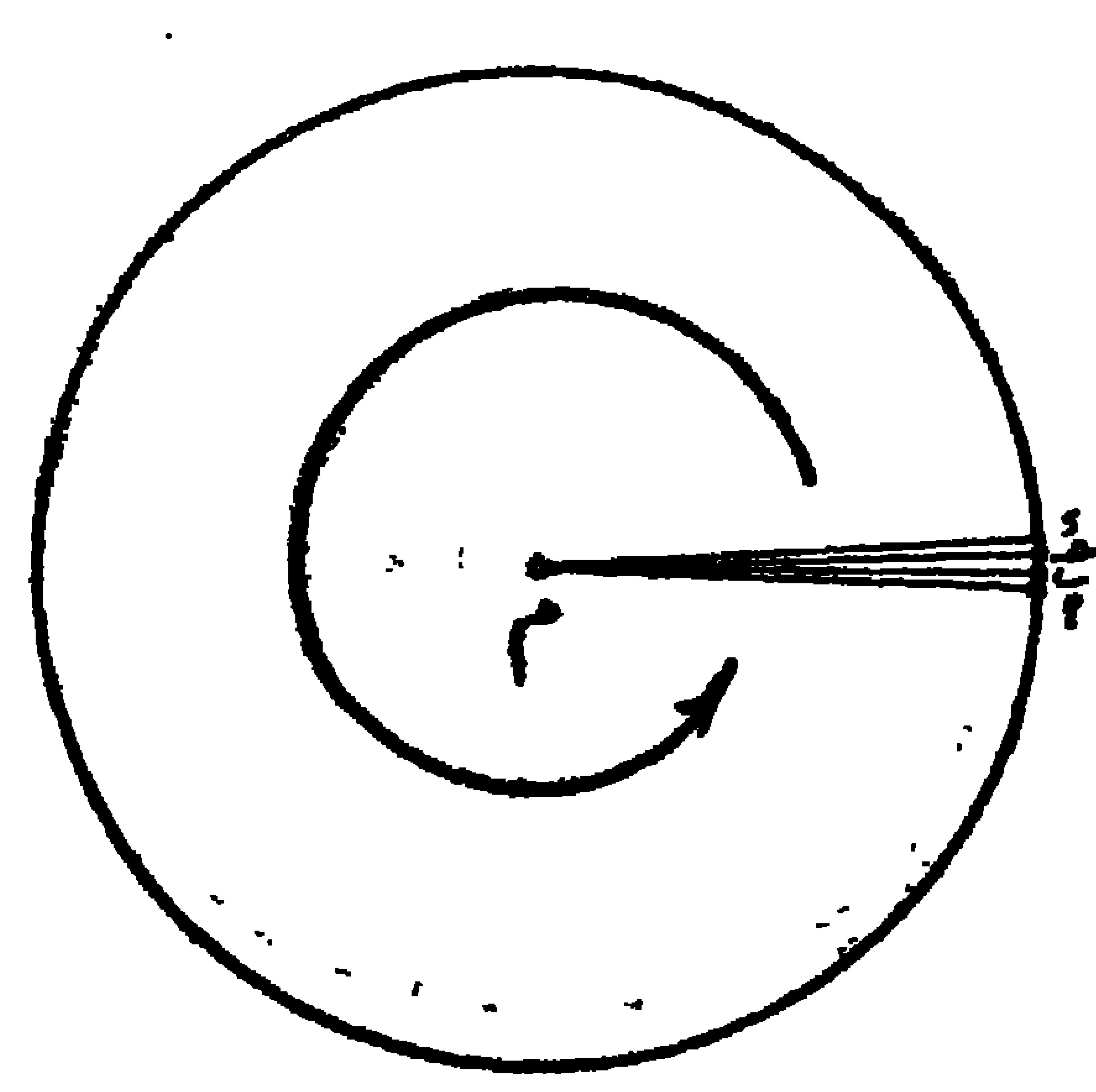
وجهاز يد ٢ كب H_2S المركّب في الطائرة يرسل هو الآخر دفعات لاسلكية الى الأرض تتكون من سلسلة موجات سنتيميترية . وبرجوع اصداء هذه الدفعات تسجل صورة دائمة التغير على شاشة نوع خاص من انابيب شعاع المهبط ، ويكون تغير هذه الصورة تابع لتغير الهيئات الارضية التي تطير فوقها الطائرة .

وهذا النوع الخاص من انابيب شعاع المهبط يسمى « دليل الموقع » . Plan Position Indicator P.P.I. وهو جزءهام من اجزاء اجهزة الرادار التي تعمل بموجات سنتيمترية ولذلك فمن المستحب ان نبذل بعض المجهود مضحين ببعض الوقت لنرى كيف يعمل دليل الموقع هذا :

في انابيب شعاع المهبط التي تكلمنا عنها حتى الآن تنشأ القاعدة الزمنيـة من تحرك البقعـة المضيئة بسرعة عالية متجهة من يسار الشاشة الى يمينها مسببة اثراً براقاً يبدو للعين كأنه خط مستمر يقطع الشاشة في منتصفها من احد طرفيها الى الآخر . ولكن في دليل الموقع تبدأ البقعة المضيئة رحلتها من مركز الشاشة المستديرة وليس من طرفها الايسر وتتحرك الي الخارج حتي تصل الى طرف

الشاشة ، ولـكنها بعد أن تعود الى مركز الشاشة ثانياً تبدأ رحلتها الجديدة في مستوى رأسي آخر وبذلك يبدو الأثر الثاني وقد ارتفع قليلا عن موضعه الأول وهكذا ، أي ان الاثر يدور خلال ٣٦٠ درجة وهو يكرر الدورة الكاملة عشرين مرة أو أكثر في الدقيقة الواحدة تبعاً للحاجة ، وفي الشكل (٥٩) توضيح لهذا الشرح . فاذا كانت الرحلة الاولى للبقعة المضيئة تبدأ من المركز (م) وتنتهي عند النقطة (ا) فان الرحلة الثانية تبدأ من (م) وتنتهي عند (ب) والثالثة من (م) الى (ج) وهكذا حتى تكمل الدائرة حول الشاشة .

وتدور هوائيات الارسال والاستقبال في صندوق الانباء (يدم كب) بنفس المعدل الذي تدور به القاعدة الزمنية في دليل الموقع وبنفس السرعة وفي نفس الاتجاهات ، وبكلمات اخرى : لو ان الهوائيات كانت في لحظة

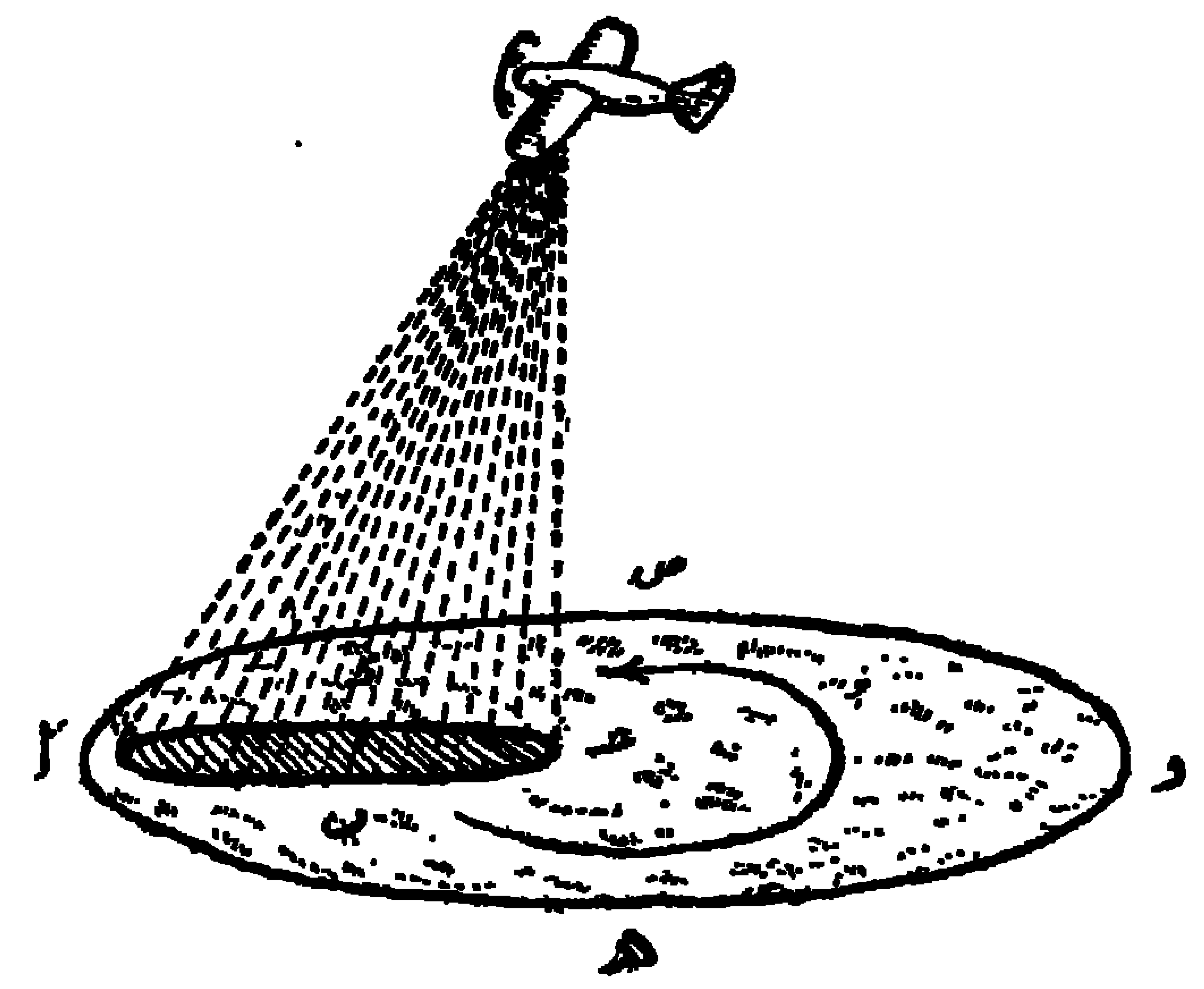


الشكل (٥٩) يوضح نظرية دليل الموقع : فالبقعة المضيئة تبدأ رحلتها من مركز الشاشة الى طرفها على الخط م ا ثم تطير الى مركز الشاشة لتبدأ رحلتها الجديدة على الخط م ب ثم م ج ثم م د وهكذا . أي ان الاثر يدور على وجه الشاشة كله .

ما متجهة امام الطائرة مباشرة فان القاعدة الزمنية في دليل الموقع تكون في نفس هذه اللحظة في اتجاه الساعة ١٢ ، في حين لو كانت الهوائيات متجهة للخلف فان القاعدة الزمنية تكون مشيرة الى اتجاه الساعة ٦ ، اما اذا كان اتجاه الهوائيات الى يمين الطائرة مباشرة فان القاعدة الزمنية الدائرة تشير الى اتجاه الساعة ٣ وهكذا . وكان استعمال الموجات السنتيمترية هو الذي يسّر عملية دوران الهوائيات في اجهزة الرادار المركّبة في الطائرات وذلك لأن هوائي نصف الموجة ثنائي الاقطاب الذي يستخدم لارسال الموجات ذات العشرة سنتيمترات طولا لا يتجاوز طوله خمسة سنتيمترات مما يسهل دورانه بسرعة نظراً لصغره وخفته ، وهو يرسل شعاعاً ضيقاً من الدفعات الى اسفل وهذا الشعاع الخفى يغطي دائماً المنطقة التي تكون الطائرة فوقها في اي لحظة من اللحظات كما يتضح من (الشكل ٦٠) ، فلو كان « ميدان النظر » لهوائي الاستقبال مطابق تماما « لميدان النظر » الخاص بهوائي الارسال فان هوائي الاستقبال يستطيع ان « يرى » في أي لحظة منطقة الارض التي يكون شعاع الدفعات الصادر من المرسل في هذه اللحظة ساقطاً عليها .

وتستخدم في تغطية وجه انبوبة شعاع المهبط من الداخل مواد كيميائية كثيرة مختلفة الانواع ، ووظيفة هذه الطبقة الكيميائية هي التوهج حين يصطدم بها شعاع الالكترونات . وبعض هذه المواد يكون توهجه لفترة قصيرة جداً تنتهي بانتهاء الاصطدام وبعضها

يحتفظ بتوهجه فترة أطول بعد ان ينتهي الاصطدام . والشاشات التي تغطيها طبقة من المواد ذات الخاصية الاخيرة يقال ان لها مدى طويل للتوهج After Glow وهذا هو النوع المستخدم في « دليل الموقع » . فحين تحدث كسرة في الاثر في دليل الموقع تسبب هذه الكسرة توهجاً غير عادي في النقطة التي حدثت فيها على الشاشة ويستمر هذا



الشكل (٦٠) ا ب جـ د هي منطقة الارض المسلط عليها الشعاع الصادر من صندوق الانباء في لحظة ما . ونظراً لان هـذا الشعاع يدور بدوران الهوائيـات فانه يغطي في فترة وجيزة كل المنطقة الدائرية ا هـ و ص .

التوهج حتى يكمل الاثر دورته حول الشاشة ويعود اليه ليجدده ، هذا اذا كان الهدف الذي سبب الكسرة ما زال موجوداً في مكانه الاول .

والآن لو ان سطح الارض الذي تطير فوقه الطائرة كان مستويا فان الصدى الذي يعود منه يكون متوسط القوة فتتوهج الشاشة

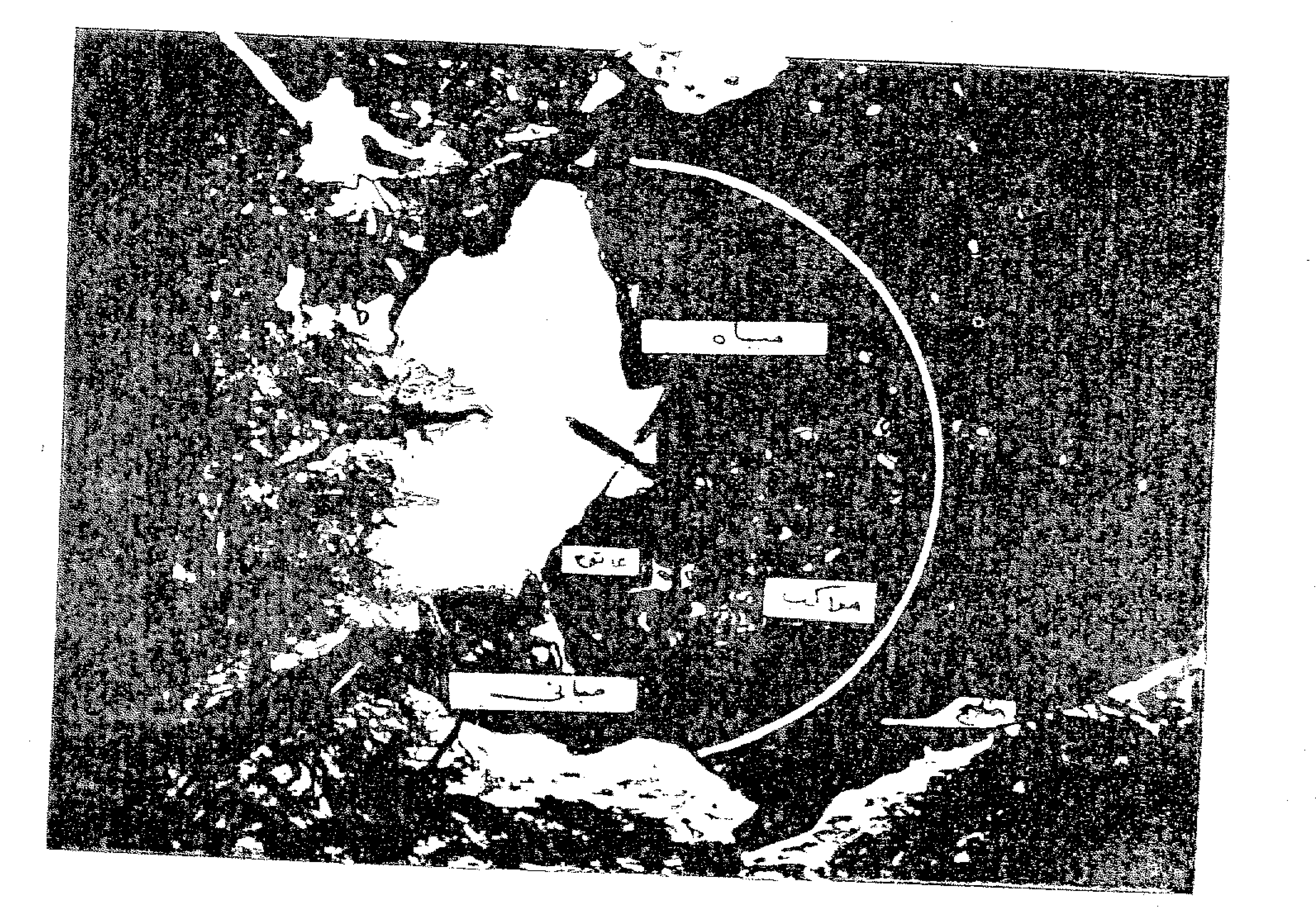
توهجاً بسيطاً . ولكن الهيئات البارزة والغير مستوية كالمباني مثلا تسبب اصداء قوية تجعل الشاشة تتوهج بدرجة عظيمة . ولا تنعكس الدفعات اللاسلكية من على المياه ولذلك تظهر المياه على شاشة دليل الموقع كبقعة داكنة السواد . وبقليل من التأمل نستطيع ان نتخيل البقعة المضيئة وهى تبدأ رحلتها من مركز الشاشة (الذي يعتبر صفراً على مقياس المسافات اذ انه يمثل مكان الطائرة نفسها الذي منه تقاس ارتفاعاتها فوق الاهداف المختلفة) ، فاذا كانت الاهداف أو الهيئات الارضية التي يعود منها الصدى بعيدة حدثت الكسرات التي تسببها هذه الاصداء في الأثر بعيداً عن مركز الشاشة والعكس بالعكس. وحول مركز الشاشة رُسمت عدة دوائر يبعد كل منها مسافة معينة عنه تبعاً لمقياس الرسم المستعمل ، ومن النظر الى هذه الدوائر والى الكسرات الناتجة في الأثر الدائر يستطيع الطيار ان يحدد بعده عن الهيئات الارضية المختلفة كما انه يستطيع ان يعرف اتجاه هذه الهيئات بالضبط من دائرة مقسمة الى درجات تحيط بشاشة دليل الموقع على اطرافها الخارجية وذلك لان القاعدة الزمنية تشير دائما في نفس الاتجاه الذي يكون عليه هوائيا الارسال والاستقبال ، فاذا حدثت كسرة في اي لحظة عرف الطيار في الحال انها ناتجة من هدف موجود في الاتجاه الذي تشير اليه القاعدة الزمنية وبالتالي في الاتجاه الذي عليه الهوائيات وهو الاتجاه الذي يقرأه الطيار على القياس.

كما انه من السهل التعرف على أشكال المدن من كتلة الكسرات

التي تسببها الاصداء العائدة من الهيئات المختلفة في هذه المدن على القاعدة الزمنية الدائرة في دليل الموقع . والاشكال التي تظهر على شاشة دليل الموقع تكون دقيقة وواضحة لدرجة لا تفترق معها عن خريطة كبيرة حقيقية لهذه الاشكال .

مما سبق يتضح انه باستخدام صندوق الانباء هذا وما يماثله من اجهزة اخرى قد اصبح من الميسور تسديد القنابل على الاهداف من الطائرات باقصى درجات الدقة والنجاح مهما ساءت الاحوال الجوية ومهما بالغ العدو في اخفاء هـذه الاهداف . واللوحـة المقابلة تمثل رسماً لشمال شرقي شوبرى Shoeburyness بانجلترا كما يظهر على شاشة « دليل الموقع » وفيه ترى المياه والارض كما تظهر أمام الطيار . ولصندوق الانبـاء ميزة اخرى عجيبة وهى انه لا يُخدع بعمليات التمويه ، فقد اضنى الالمان انفسهم في تمويه الاهداف حتى بلغوا حد الكمال : اذ كانوا يغطون البحيرات والانهار باجسام طافية مموهة كما اقاموا مدناً هيكلية بأكملها للتضليل وكان هذا اعجازاً في الواقع ولـكنه لم يُجد فتيلا اذ لم تخدع به عين صندوق الانباء السحرية ، فهو يفرق جيداً بين شباك التمويه والطلاءات الهيكلية وبين مواقع المدافع الحقيقية والمباني والتحصينات المسلحة المقامة حول الاهداف .

وباستخدام الرادار امكن توسيع نطاق الغارات الجوية لقذف القنابل على البلاد المعادية لانجلترا بدقة عظيمة في أي جو و اي وقت . وهناك جهاز خاص او بتعبير اصح نظام يطلق عليه اسم جى GEE باستخدامه يمكن لأي



يبين هذا الرسم ما يراه ملاح الطائرة بواسطة جهاز « يد ٢ كب » والخطان المتقاطعان اللذان في مركز الصورة يدلان على مكان الطائرة نفسها ، واللون الاسود يدل على المياه

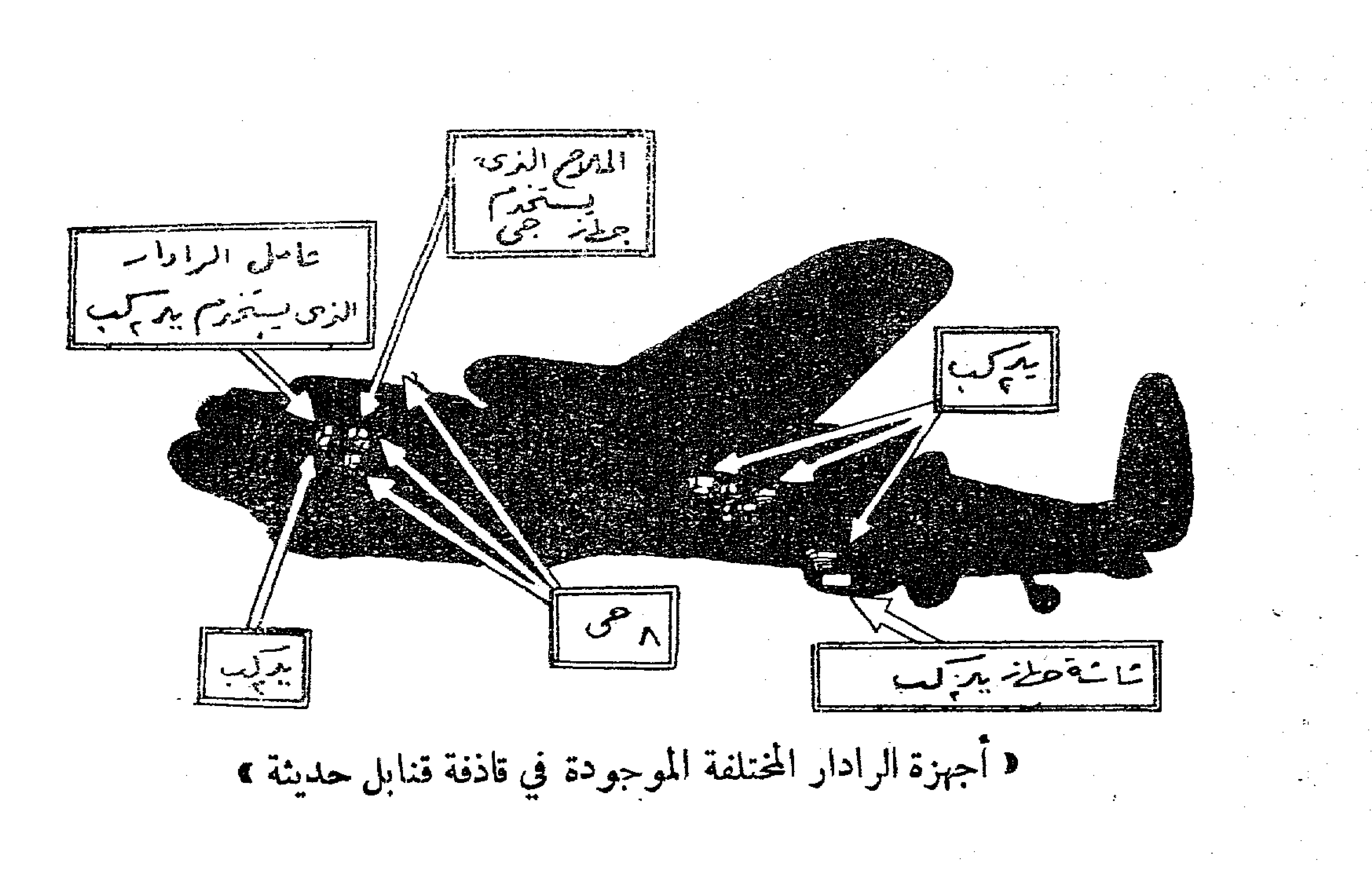
قاذفة قنابل ان تعرف مكانها بالضبط في اي لحظة من اللحظات ، وبذلك امكن رفع الحد الاقصى لعدد قاذفات القنابل المراد تجميعها لضرب هدف واحد في ليلة واحدة من مائة قاذفة وهو الرقم القياسي القديم الى الف . كما ان هناك جهازاً آخر يعرف باسم أوبو OBOE وهو يفوق جهاز جي في المساعدات التي يقدمها للملاحة الجوية . فبواسطة جي كانت القاذفات توجه الى مناطق مختارة مجاورة لمراكز الصناعة الالمانية ، وذلك في اثناء الغارات الجوية التي شُنت على المانيا قرب انتهاء الحرب ، ثم يبدأ أوبو عمله فيوجه هذه القاذفات الى المكان المطلوب ان تكون فيه بالضبط ، ثم تبقى هذه القاذفات في اماكنها الجديدة دون ان تلقي قنابلها حتى تصدر اليها اشارة خاصة من انجلترا بواسطة مديرين خاصين Controllers . وكان الرادار هو الذي يحدد لهؤلاء المديرين مواقع القاذفات لأقرب بضعة ياردات كي يرسلوا اليها الاشارات .

وابتُكر جهاز آخر ذو شقين يدعى ربيكا — يوريكا Rebecca-Eureca خصيصا للطائرات الشراعية والهابطين بالمظلات ، فتبدأ العملية بهبوط مقدمة من الهابطين بالمظلات ومعهم الجزء الاول من الجهاز « يوريكا » الذي يمكن اعتباره كمحطة او منارة رادار وهو يستجيب اوتوماتيكياً لأي اشارة تصل اليه من « ربيكا » الذي يكون محمولا في هذا الوقت في الطائرات الشراعية التي لم تهبط بعد ، وبواسطته يمكن ارشاد هذه الطائرات حتى تهبط في اكثر الاماكن ملاءمة . وهذا الجهاز يساعد

القوات المحمولة بالطائرات على التجمع بنجاح تام في منطقة صغيرة قد تم اختيارها من قبل .

المقاتلات الليلية : — كان العمل الملقى على عاتق طياري المقاتلات الليلية خطيراً جداً وصعباً لدرجة لا يمكن تصورها ، اذ كان مفروضاً على هذه الطائرات ان تخرج لمواجهة قاذفات الاعداء في غاراتها الليلية فيقودها الطيارون من المهابط والمطارات في الظلام التام ثم يؤدوا عملهم ويعودوا ليهبطوا في نفس هذا الظلام مسترشدين في هبوطهم بمشاعل خاصة لم تكن لتفيدهم كثيراً اذا ما انتشر الضباب في الجو وهو امر كثير الوقوع . ولم يكن « فيدو » قد اخترع بعد (فيدو هو اختصار انجليزي لاسم « قسم ابحاث الضباب ») وهو تنظيم عجيب للقضاء على الضباب تستخدم فيه اوعية كبيرة يحترق فيها زيت يستغل في تبديد الضباب الجاثم فوق المطارات حتى يسهل على الطائرات الهبوط في امان .

وكان المدير في المطار الذي تطير منه المقاتلات الليلية يوجه طياري هذه المقاتلات بواسطة التليفون اللاسلكي حتى تقترب من القاذفات المعادية ، ثم كان على هؤلاء الطيارين بعد ذلك ان يقتربوا من تلك القاذفات اكثر فأكثر الى ان يصلوا الى اماكن يستطيعون منها رؤيتها بوضوح والاشتباك معها ، وفي الامكان تصور استحالة هذا العمل في بقعة حالكة السواد . وحتى لو فرضنا جدلا ان توجيه المدير كان دقيقاً لدرجة اوصلت الطيار الى نقطة اعلا أو أوطى من القاذفة المعادية ببضعة اقدام فإنه من

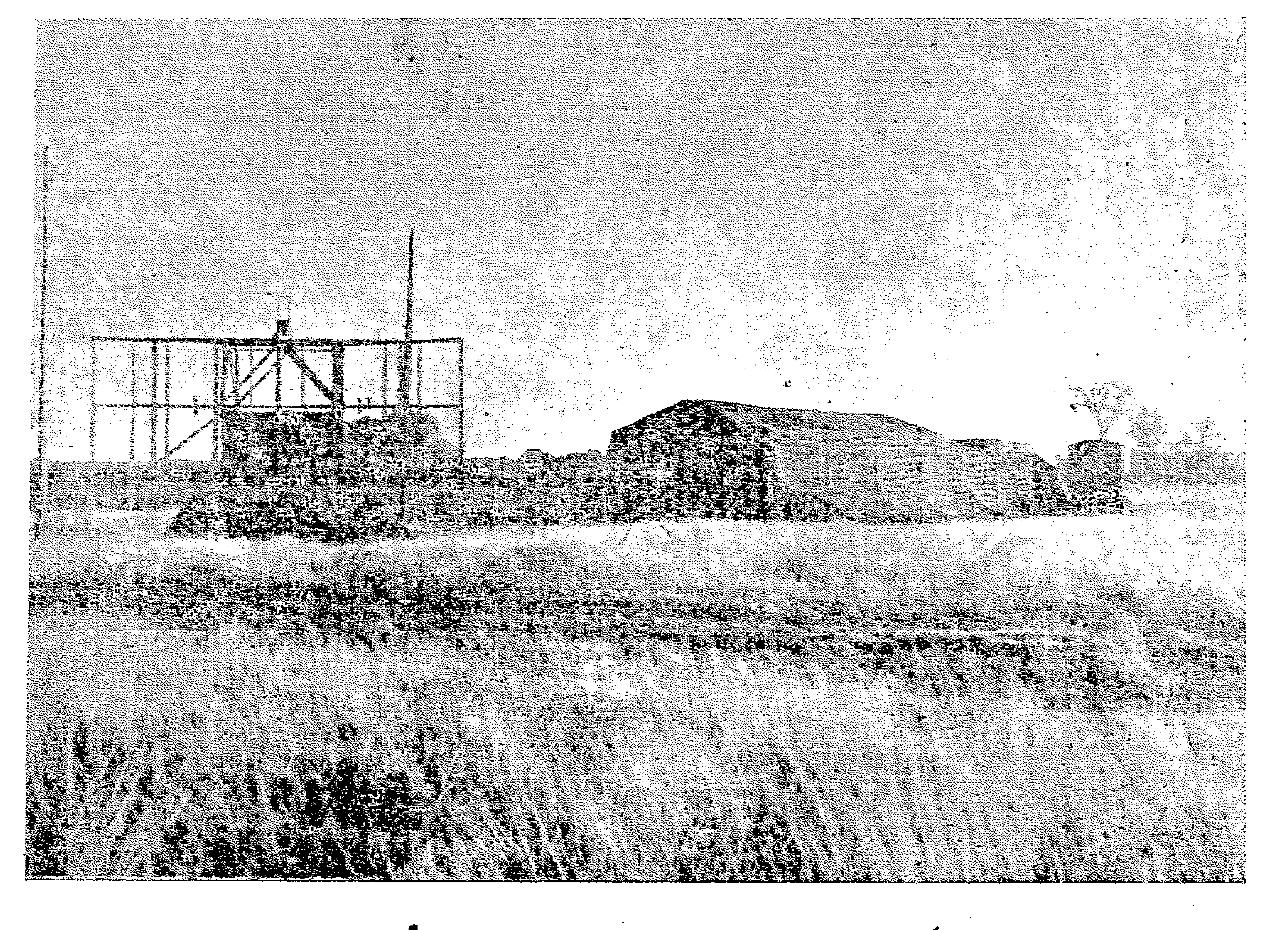


« أجهزة الرادار المختلفة الموجودة في قاذفة قنابل حديثة »

الجائز جداً ان يمر الطيار بالطائرة المعادية دون ان يلمحها في الوقت الذي يكون المدفعي الموجود ببرج هذه القاذفة قد لمحه فيه ووجه اليه قذائفه التي تحمل الهلاك له ولطائرته . وعلى ذلك فلم يكن عجيباً امر تلك الخسائر الفادحة التي منيت بها المقاتلات الليلية البريطانية وطياريها في الايام الاولى لمعركة بريطانيا .

ولكن الرجال المسؤولون عن الدفاع عن انجلترا كانوا يواصلون الليل بالنهار في البحث العميق حتى تحققوا من امكان استغلال الرادار بعد ان تدخل عليه تعديلات جديدة ليلعب دوراً هاماً في معاونة المقاتلات الليلية في تأديتها لواجبها العظيم . وتقدمت الابحاث وتطورت بقوة وسرعة بحيث لم يأت الجزء الأول من عام ١٩٤٤ إلا والعدو يترنح تحت وطأة الضربات التي كانت تكيلها المقاتلات الليلية لقاذفاته . وازداد اعتقاد الالمان بان اللعبة أصبحت خاسرة وانه يستحسن عدم الاستمرار فيها فتضاءلت الغارات الالمانية الليلية على انجلترا وقلت حدتها تدريجياً الى ان توقفت نهائياً ، فلم يكن في مقدور القوة الجوية الالمانية ان تواجه الخسائر الفظيعة التي كان سببها غير المباشر الرادار الانجليزي .

وقبل ان يخترع الرادار الخاص بمساعدة المقاتلات الليلية كانت المجهودات كلها منصرفة الى تحسين مستوى النظر لطياري هذه المقاتلات ولهذا السبب كانوا يختارون بعد ان يجتازوا عدة امتحانات قاسية تجري لاختبار حدة إبصارهم. هذا وقدكانت موائد رجال سلاح الطيران البريطاني وعلى الاخص موائد طياري المقاتلات الليلية تزخر دائماً بانواع الاطعمة

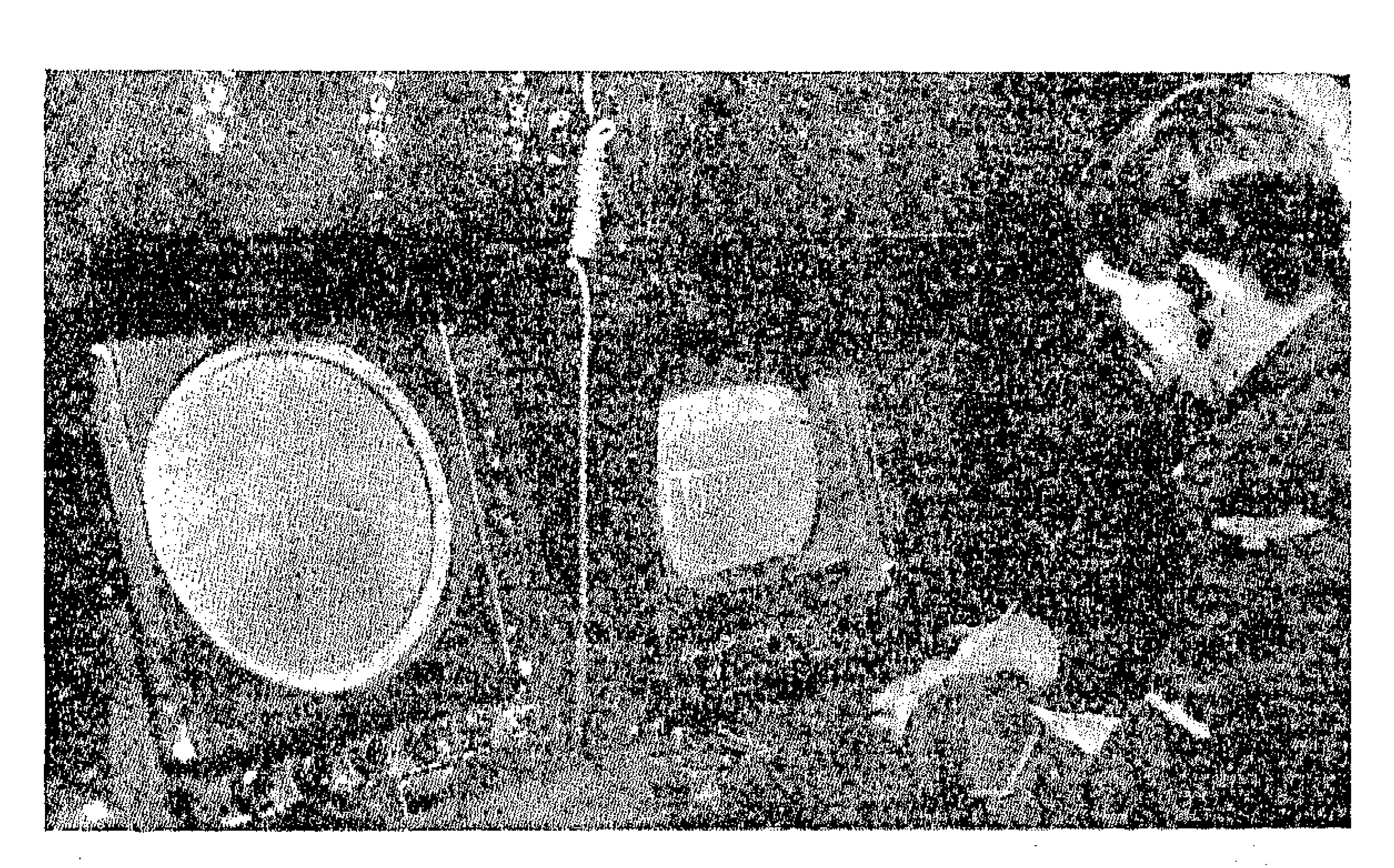


يبين محطة « مقابر أرضية » متنقلة حتى يسهل إقامتها في أي مكان على وجه السرعة .

التي اختيرت خصيصاً لانها تحوي فيتامينات ومواد تساعد على تقوية البصر وعلى جعل العين شديدة الحساسية حتى في الضوء الضعيف . وبالرغم من ذلك ومن البطولة التي كان يبديها هؤلاء الطيارون قبل اتمام اختراع الرادار الخاص بمعاونة المقاتلات الليلية فان رجال قاذفات القنابل المعادية كانوا يعتبرون الاخطار التي يتعرضون لها بغاراتهم الليلية على انجلترا ضئيلة جداً لدرجة جعلت الطيارين الالمان الذين يقومون بطائراتهم من المطارات البلجيكية والفرنسية يحاولون ان يكرروا الرحلة الى انجلترا مرتين او ثلاثا في الليلة الواحدة وذلك لانهم كانوا يمنحون اجازة لمدة معينة عن كل مرة يعبرون فيها الساحل الانجليزي . ولكن لم يمض وقت طويل حتى كان الرادار يرشد بعيونه السحرية المقاتلات الليلية البريطانية الى اهدافها (قاذفات القنابل الالمانية) ، وسرعان ما انعكست الآية واصبح رجال القاذفات الالمانية يرجحون احتمال تدوين اسمائهم فى كشف الخسائر عن احتمال تدوينه في كشف الاجازات بعد ان يعبروا الساحل الانجليزي في غاراتهم الليلية .

ويرجع الفضل في جعل السماء الانجليزية موطنا غير آمن لطائرات الالمان الى العمل المشترك الذي كان يبديه نوعان خاصان من الرادار احدهما يسمى « المقابلة الارضية » Ground control interception G.C.I. وهو يقام على الارض ودليل الموقع فيه ذو شاشة كبيرة القطر تظهر عليها شبه خريطة لقبة السماء التي تغطي المنطقة الموجود بها الجهاز بكل ما فيها من طائرات متحابة أو معادية في دائرة يبلغ قطرها عدة اميال . وبمساعدة

هذا الجهاز يمكن لضابط الادارة بالمطار ان يوجه طياري المقاتلات الليلية بواسطة التليفون اللاسلكي مزوداً اياهم بخط السير الذي عليهم ان يتبعوه كي يصلوا الى اقرب مكان من هدفهم بينما كان يمكن رؤية المقاتلة وهي تقترب من القاذفة المعادية وذلك على شاشة دليل الموقع في الجهاز . فاذا ما قصرت المسافة بين المقاتلة وهدفها شغّل الطيار جهاز الرادار الموجود في طائرته ويسمى « مقابِلُ الطائرة » Aircraft Interception A. I. وعلى شاشة



يبين شاشتا انبوبتي شعاع المهبط الموجودتان في محطة (مقابلة ارضية) ويظهر دليل الموقع في اليسار وعليه القـاعدة الزمنية الدائرة . أما في اليمين فيظهر مقياس المسافة على القاعدة الزمنية المستقيمة .

أنبوبة شعاع المهبط في هذا الجهاز يظهر الهدف كبقعة ضوئية ، وعلى الملاح الموجود بالمقاتلة ان يوجه الطيار كي يتحرك بطائرته في الاتجاهات المختلفة حتى تأتي هذه البقعة الضوئية في مركز الشاشة مما يدل على ان المقاتلة تتبع طريقا صحيحاً متجهة الى الفريسة . وكانت اجهزة « مقابلة الطائرة » القديمة تعمل بالموجات فوق القصيرة وكانت تعتبر اذ ذاك انها اجهزة لا بأس بها

ولكن الاجهزة الحديثة التي تعمل بالموجات السنتيمترية قد فاقتها بمراحل من حيث الدقة والوضوح .

الانوار الكاشفة المضادة للطائرات : لم يكن لدى جنود الانوار الكاشفة في الايام الاولى لهذه الحرب الاخيرة ما يساعدهم في تأدية واجبهم الشاق الا وهو تعيين محل الهدف ثم توجيه البواعث الكاشفة عليه فلم تكن هناك إلا آلات تعمل بواسطة الموجات الصوتية التي لا تفيد كثيراً ، خصوصاً لو كانت الاهداف سريعة ومرتفعة ، مما جعل الانوار الكاشفة تلاقي صعوبة كبيرة جداً في اكتشاف مثل هذه الاهداف وانارتها. وكثير من القراء لا بد وقد رأى اشعة الانوار الكاشفة وهي تلعق صفحة السماء بحثاً وراء الطائرات ، كما ولا بد انهم قدروا صعوبة هذا العمل نظراً لضيق الشعاع واتساع رقعة السماء . ولكن « إلسى» S. L. C. Elsie او « جهاز ادارة الانوار الكاشفة » ، وهو جهاز رادار خاص بمعاونة الانوار الكاشفة قد سهل الامور كثيراً . والنظرية الاساسية لهذا الجهاز هي انه يرسل اشعة لاسلكية تتكون من دفعات و تدور بسرعة وقطرها الخيالي اوسع كثيراً من قطر شعاع الانوار الكاشفة العادي . وتغطي هذه الاشعة منطقة السماء التي تدل المعلومات الواردة من اجهزة الرادار على وجود طائرات معادية بها . والجهاز يرسل اشعته من اربعة هوائيات: ميدان النظر للهوائي الاول منها اعلا الهدف وللثاني اسفله وللثالث يمينه وللرابع يساره . وحالما يعين« السى » محل الهدف يوجَّه اليه باعث الانوار الكاشفة اوتوماتيكيا وهو مُعتَّم حتى اذا ما فتح نوره فجأة ظهر الهدف

في وسط الاشعة الضوئية ، ونسبة النجاح تزيد عادة على ٩٠ ٪ .
والهوائيات الاربعة التي تكلمنا عنها مثبتة على الباعث نفسه كما يظهر من
الرسم الموجود على صفحة ١٤١ .

الرادار في البحرية : استغلت البحرية في كل من اميركا وانجلترا
الرادار على اختلاف انواعه الى اقصى حد ممكن وتمكنت بذلك من
استخدام مدافع البحرية الضخمة الحديثة ذات المرامي البعيدة جداً التي تبعد
عن مدى البصر العادي حتى في ضوء النهار بسبب تكور سطحي الارض
والبحر . وكان انتصار اسطول البحر الابيض المتوسط الانجليزي في معركة
رأس ماناباه نصراً للرادار وفخراً عظيما له : حدثت هذه المعركة في ليلة
حالكة السواد بين الاسطول الايطالي والاسطول الانجليزي اللذين كانت
تفصلهما مسافات شاسعة ، وكان هذا البعد بين الاسطولين سبباً في الا
يرى الاسطول الايطالي عدوه الانجليزي فيسير مطمئناً . ولكنه سرعان ما
فوجيء بالقذائف الجبارة تشق حجب الظلام وتتساقط على قِطَعه بدقة
عجيبة مما دعاه الى التفرق بدون انتظام بينما غرقت بعض قطعه قبل ان
يتمالك ضباطه ورجاله انفسهم ويتبينوا ما يحدث . وليست حادثة ضرب البارجة
الالمانية شارنهورست بالمدافع الثقيلة البريطانية قبل ان تظهر في الافق
بالشيء الذي ينسى ، وكان الرادار هو الذي عين مكانها الابتدائي وهو الذي
ساعد في ادارة النيران عليها حتى جاءت مؤثرة لدرجة لم تستطع البارجة معها
مقاومة مصيرها المحتوم لما اصبحت تحت مرمى المدافع الثقيلة فغرقت في
وقت كانت فيه فخراً للبحرية الالمانية . (حدثت هذه العملية بعد ان

تمكنت شارنهورست من اجتياز القنال الانجليزي تحت « سمع » الرادار و « بصره » في مرة سابقة كما سيأتي في ملحق هذا الفصل) .

ومن ضمن الاجهزة التي ابتكرت لتلائم اغراضاً خاصة في البحرية جهاز يسمى « الطائرة الى المركب السطحي» Aircraft to Surface Vessel A. S. V. وهو يُستخدم بنجاح تام ضد الغواصات حين تطفو على سطح الماء ، وبالطبع لا بد لأي غواصة من ان تظهر على سطح الماء للتهوية ولشحن البطاريات ، فيكون الجهاز لها بالمرصاد ويكتشفها في الحال . ولقد استعمل هذا الجهاز نفسه في القيادات الساحلية لارشاد طائرات البحرية المضادة للغواصات .R.N.A.S.A كما انه كان من اقوى العوامل التي اكسبت البريطانيين معركة الغواصات الالمانية مما دعا الاميرال دونتز الالماني الى ان يقرر ان سبب فشل الغواصات الالمانية في اقامة حصار حديدي حول بريطانيا لاجاعتها راجع الى تفوق البريطانيين بما لديهم من الاجهزة الفنية .

وقد ذكر الكثير عن استخدام الجيش للرادار ولكن الدور الذي لعبه الرادار في تدمير القنابل الطائرة V1 أو قنابل الازيز Buzzbombs لم ينل حظه الوافي من التفصيل والايضاح . فعين الرادار الساهرة هي التي كانت تكتشف هذه القنابل بعد اطلاقها بوقت بسيط وتستمر في تتبعها حتى يتسنى تعيين اماكنها وتحديد خطوط سيرها على خرائط كبيرة باستمرار ، ثم ترسل المعلومات الناتجة الى المدافع فتشتبك معها بنجاح تام . وكان استخدام العدو لهذا النوع من القنابل سبباً في ان يغيّر رجال المدفعية المضادة

للطائرات الطرق التي كانوا يعملون بها وان يبتدعوا طرقا جديدة وتنظيمات اخرى . ولقد تمكنت بعض هذه القنابل في الأيام الأولى التي استعملت فيها من اختراق نطاق الدفاعات عن الجزر البريطانية واستقرت على اهدافها . ولكن استخدام الرادار واتباع المدفعية المضادة للطائرات للاساليب الحديثة بعد ذلك كان بلسما للجراح التي سببتها هذه القنابل إذ اصبحت الخسائر فيها افدح من الخسائر التي تسببها . واليكم ما قاله احد قواد بطاريات المدفعية الانجليزية المضادة للطائرات في هذا الموضوع ، وقد عنيت بتسجيله نظراً لطرافته كما انه يدل على الروح التي كانت سائدة في تلك الايام : « حين بدأ الالمان في ارسال قنابلهم الطائرة كنا نتلقى آيات المديح من قوادنا اذا نحن أفلحنا في اسقاط واحدة منها ، ولكن حين اقتربت العمليات من النهاية اصبحنا نطالب بتقديم حساب عسير عن السبب في ان واحدة استطاعت الافلات الى هدفها ولم نتمكن من اسقاطها » . فإلى الرادار يرجع الفضل الاعظم في قلة عدد ضحايا القنابل الطائرة ، ولولاه لتفاقم الخطب وفدحت الخسارة .

بقيت نقطة واحدة اظن ان الوقت قد حان لكي اجلو غموضها : فأنت لا بد تعجب من الطريقة التي يستطيع بها رجال المدفعية المضادة للطائرات وعمال الرادار التفرقة بين الطائرات المعادية والمتحابة ، ولكني لا أظن ان هناك مجال للعجب بالرغم من ان الطائرات أو المراكب سواء أكانت معادية أو متحابة تظهر اصداءها على شاشة انبوبة شعاع المهبط ككسرة في الاثر على شكل الرقم ٨ كما سبق ان عرفنا ، وشكل

هذه الكسرة لا يتغير بالنسبة لجميع الاهداف . فباستخدام نظام خاص يسمى « التعرف على الحليف أو العدو » Identification Friend or Foe I.F.F يمكن الحكم على ما اذا كان الهدف حليفاً او معادياً وهذا النظام يتركب من الآتي :

١) جهاز صغير يركّب في الرادار ويسمى « المستجوب Interrogator » ، وهو المرسل الذي يرسل دفعات لاسلكية معدل تكرارها اقل بنسبة الربع تقريباً من معدل التكرار لمرسل الرادار نفسه .

٢) جهاز استقبال مركب في الرادار كذلك وهو المستقبل في نظام التعرف على الحليف او العدو ويسمى « Responsor » وهو متصل بأنبوبة شعاع مهبط خاصة به في اغلب الاحيان .

وللمستجوب هوائي خاص به يركب في اعلا قرة الرادار كما ان للمستقبل هوائي آخر خاص به .

٣) جهاز ارسال واستقبال يركب في الطائرة او المركب "Transponder" ويقوم بالتقاط الدفعات المرسلة من المستجوب ، وحالما يتم استقبال الدفعة يشتغل المرسل اوتوماتيكيا ويشعها مرة اخرى في اتجاه الرادار بطريقة اصطلاحية خاصة . والجزء الخاص بالاستقبال في هذا الجهاز يولف اوتوماتيكياً على عدد من الذبذبات المختلفة كل فترة معينة من الزمن حتى يستطيع استقبال دفعات اي جهاز رادار متحالف يعمل على اي تردد .

فاذا كانت الطائرة او المركب معادية ، فان مثل هذا الجهاز لن

يكون في حوزتها وبالتالي لن ترد اي اشارات منها الى الرادار نتيجة للدفعات المرسلة من المستجوب فيعرف انها معادية . وعلى فرض ان كان بها مثل هذا الجهاز فانها لن تعرف الاصطلاح المستخدم للاجابة .

وكما ان للرادار مزاياه وحسناته فان له مآسيه ، وكلنا يذكر فاجعة ميناء بيرل الامريكية في المحيط الهادي حيث دمرت الطائرات اليابانية معظم اسطول المحيط الهادي الامريكي في الوقت الذي كان الساسة من البلدين يتفاوضون فيه حبياً في واشنطن . وجاء في التقرير الذي اصدرته السلطات الامريكية عن هذا الحادث ان صف الضابط المختص بجهاز الرادار كان قد نبه ضابطه الى ان جهازه ينذر باقتراب تشكيلة ضخمة من الطائرات ، وكان ذلك قبل وقوع الحادث بوقت معقول . ولما لم تكن الحرب قد أعلنت فقد ظن الضابط ان هذه الطائرات امريكية قادمة لتعزيز القاعدة البحرية وعلى ذلك لم يتخذ اي اجراء . وبذلك يكون الرادار قد انذر ولكن انذاره لظروف خاصة لم يوله احد العناية الكافية فكانت المأساة الكبرى (لم يكن نظام التعرف موجوداً) .

الملحق الاول

للفصل الثالث عشر

كيف يضاد الرادار ؟

الحاجة أم الاختراع : من الأمور المألوفة في الحروب انه كلما ظهر سلاح جديد سرعان ما يتبع ظهوره اختراع وسائل لمقاومته . فظهور الغازات الخانقة في الحرب العظمى الاولى تبعه اختراع الاقنعة الواقية كما أن اختراع الدبابة دعا الى اختراع البنادق والمدافع المضادة لها . وكان اختراع الرادار وليد الحاجة إلى سلاح لمقاومة قاذفات القنابل ، وها هو الرادار نفسه الآن يعاني من ظهور اختراعات أخرى مضادة له .

وكان يوم ١٢ فبراير عام ١٩٤٢ هو بدء استخدام الوسائل المضادة للرادار على نطاق كامل : ففي هذا التاريخ تمكنت البارجتان الالمانيتان شارنهورست Scharnhorst وجنايزنو Gneisenau من عبور القنال الانجليزي تحت أنف أحكم سلسلة من أحسن أنواع الرادار المقامة . على طول الساحل الانجليزي . وقد تم هذا العبور بعد ان قام الالمان بتعطيل جميع اجهزة الرادار الانجليزية تعطيلا مؤقتاً **بالتراسل اللاسلكي** Jamming .

ولم تتمكن بطاريات مدفعية السواحل من إصابة هاتين

السفينتين بأضرار تذكر وذلك لأن التداخل سبّب ارتباكا وذعراً بين الجنود المختصين بادارة الرادار فلم يتمكن أي جهاز من تتبعها فتقدمتا تسترها الأحوال الجوية السيئة عن أعين المراقبين العاديين اما الحلفاء فقد بدؤوا باستخدام الوسائل المضادة للرادار الألماني بعد أن وجهوا هجومهم الجوي الثقيل ضد المناطق التي كان يحتلها الألمان في اوروبا .

نقط الضعف في الرادار : إن الأعين الجديدة التي زود بها الرادار القوات المسلحة أصبحت الآن عرضة لأن تصاب بالعمى نتيجة لاتباع طرق مدهشة لاستغلال نقط الضعف في الرادار أقصى حدود الأستغلال ، وهذه الطرق تشبه إلى حد كبير الطرق التي تتبع لحجب الرؤية عن نظر المراقبين باستخدام ستائر الدخان الصناعي . ولنبحث الآن بعض نقط الضعف التي يمكن استغلالها لمقاومة الرادار وإعماء أعينه الحادة .

ترسل محطات الرادار دفعات قوية جداً من موجات الراديو ، وفي الامكان التقاط أو « سماع » مثل هذه الدفعات باستخدام مستقبل خاص مولف على موجات قصيرة جداً تقابل في طولها تلك التي يستعملها الرادار . وها هي أول نقطة ضعف في الرادار : فهذه الدفعات التي يرسلها يمكن « سماعها » على مسافات بعيدة جداً تفوق أقصى مدى يستطيع الرادار أن يكتشف هدفاً عليه . فلو أن أقصى مسافة لرادار خاص كانت ٧٠ ميلا مثلا ، فان هذا الجهاز

عرضة لأن « يُسمع » من مسافة ١٠٠ ميل . والواقع أن الرادار وهو يعمل يعلن دائماً عن وجوده ، ويعتبر من وجهة النظر الكهربائية ساكناً صموتاً لو أننا اعتبرنا غلالة النيران صامتة هادئة من وجهة النظر السمعية . كما أن الدفعة التي يرسلها الرادار تفضح مكانه إذ أنه من المستطاع باستخدام آلات إيجاد الاتجاه اللاسلكية تحديد الاتجاه الذي ترد منه إشارات الرادار . ويمكن ايضاً معرفة التردد الذي يعمل عليه الرادار وتحديد المدى الذي يغطيه سواء في المستوى الأفقي أو الرأسي ومعرفة معدل التكرار والزمن الذي تستغرقه كل دفعة . مثال ذلك ان إحدى طائرات استكشاف الرادار الأمريكية المعروفة باسم Ferrets تمكنت من تحديد موقع جهاز رادار ياباني بالطيران في اتجاهه على عدة ارتفاعات ومن مختلف الاتجاهات . ولقد أوقف عامل الرادار الياباني استخدام الشعاع اللاسلكي حالما اكتشف الطائرة وبدأ بتتبعها وهي داخل « ميدان النظر » الخاص بالهوائيات المعروفة باسم الأنتين Antenna ، فلما عاد الطيار الى القاعدة استطاع معرفة مدى تغطية الرادار بتحليله الاشارات المتقطعة التي كانت ترسل في اتجاهه في كل مرة كانت يقترب فيها من الجهاز . ثم اتبعت هذه الطريقة مرة أخرى في كيسكا Kiska لمعرفة المنطقة الميتة التي لا تغطيها أشعة الرادار الخيالية Blind spot in radar's eye حتى تقترب منها قاذفات القنابل وهي آمنة من أن تكتشف .

وهناك نقطة ضعف ثالثة في الرادار : فالأصداء العائدة غالباً ما

تكون ضعيفة، فاذا كان العشب grass أو الصوت noise الموجود على « الأثر » زائداً عن المألوف حجب الصدى العائد فتتعذر رؤيته على العامل . وإذا أمكن تزويد الهدف بجهاز يستطيع إرسال إشارات لاسلكية أقوى من الأصداء المرتدة ، إذن لتمت تعمية جهاز الرادار تماما .

وجهاز التداخل المستعمل عبارة عن مرسل لاسلكي قابل للتوليف يرسل « أصواتاً لاسلكية » غير منتظمة . ويمكنك أن تتبين التأثير الذي يحدث من هذه العملية إذا كان عندك جهاز استقبال منزلي وماكينة كهربائية لحلاقة الذقن — وقد انتشر استعمالها في أيامنا هذه — وفتحت جهاز الاستقبال ثم استعملت الماكينة . سوف تحقق من ان الاذاعة لن تكون واضحة ابداً .

ونقطة الضعف الرابعة في الرادار هي صعوبة التمييز بين الأصداء المرتدة من الأهداف الصغيرة ، والمركب والطائرة كلاهما يعتبر أهدافاً صغيرة بالنسبة للرادار . ويمكن ، إذا اعترضت الدفعات الصادرة من الرادار مجموعة من رقائق معدنية مقطوعة بمقاييس خاصة تتناسب مع أطوال الموجات التي يستخدمها الرادار ، ان تنعكس من هذه الصحائف اصداء قوية جداً . والواقع ان بضعة آلاف من الرقائق المعدنية ، لوحزمت في ربطة لا يزيد وزنها على أوقيتين ، تستطيع ان تعكس أصداء قوية تشابه الأصداء التي ترتد من مجموعة من

قاذفات القنابل على أن تلقى مثل هـذه الحزمة من طائرة فتتناثر محتوياتها .

وأطلق الاصطلاح « نافذة » Window على هـذه الرقائق المعدنية أو بصفة أصح على هذه الطريقة من طرق التداخل ، والسبب في هذه التسمية هو ان أشعة الشمس المنعكسة من هذه الصحائف تبدو وكأن مئات من النوافذ تبرق في الشمس . وان بضع ربطات من « النافذة » تلقى من طائرة الواحدة تلو الاخرى تكوّن سحابة لا يمكن للرادار أن ينفذ خلالها بأشعته لاكتشاف هدف ما ، وإذا تمكنت بعض الدفعات من النفاذ من هذه السحابة والاصطدام بهدف ما فان الصدى المرتد لن يمكن تمييزه على « الأثر » في المستقبل من بين مئات الأصداء المرتدة من « النافذة » .

وتتلخص نقط الضعف في الرادار التي يمكن استغلالها لتعطيله في الآتي :

١) يمكن « سماع » الرادار من مسافات طويلة وبذلك يستدل على وجوده .
٢) يمكن تحديد موقعه وخواصه بعد « سماعه » .
٣) نظراً لأن الصدى المرتد من معظم الاهداف يكون ضعيفاً جداً ، فانه يمكن حجب مثل هذا الصدى بإرسال اشارت راديو قوية من الهدف للتداخل في الرادار .
٤) من أصعب الأمور على العامل في مستقبل الرادار أن يميز

بين الأصداء المرتدة من اهداف حقيقية والمرتدة من اهداف خادعة والقطع بحقيقة أيهما .

ولقد وجه العلماء جهودهم الى هذه النقط الاربع جميعها واستغلوها في ابتكار الوسائل المضادة للرادار . ولكن لا يفوتني أن أبين أن طرقا جديدة قد ابتكرت لتضاد هذه الوسائل المضادة وان تعديلات جديدة قد أدخلت على الرادار بقصد التغلب على التداخل وما اليه من الوسائل المضادة .

كيف يتم التداخل : — إن الغرضين الرئيسيين للعدو الذي يريد ان يضاد الرادار هما : منع الرادار من اعطائنا أي معلومات مفيدة عن قوات هذا العدو ، وثانياً الحصول على معلومات مفيدة عن قواتنا « بالاصغاء » الى اجهزة الرادار التي نستخدمها .

ويمكن القول بأن الوسائل المضادة التي تتبع لتحقيق هذين الغرضين هي : (ا) **التداخل** Jamming (ب) **الخداع** deception (ح) **المراوغة** Evasion (د) **المقابلة** Interception

(ا) **التداخل** : يقوم العدو بانتاج إشارات لاسلكية قوية لحجب تحركات ومواقع سفنه وطائراته عن الرادار ، ولاخفاء أو إبهام الأصداء الحقيقية المرتدة من هذه السفن والطائرات .

(ب) **الخداع** : يرسل العدو أصداء مضللة تظهر في مستقبل الرادار فيستدل منها العامل على وجود أهداف وهمية أو مغايرة

للحقيقة : فمثلاً قد تبدو الأهداف الصغيرة كأهداف كبيرة أو قد تظهر أصداء حيث لا تكون هناك أهداف البتة .

(م) **المراوغة** : وهي عبارة عن تكتيك يقصد به استغلال عدم استطاعة الرادار كشف الأهداف إلا من مسافات محدودة ، وذلك لمنعه من اكتشاف مواقع قوات معادية تنوي الهجوم . واذا اتخذت طائرات العدو خطة المراوغة فانه يستحيل على الرادار أن يدل على الارتفاع الحقيقي لهذه الطائرات أو حتى أن يكتشفها فعلا ، واذا اكتشفها فان ذلك يكون بعد فوات الوقت المناسب للاشتباك معها بنجاح مؤثر .

(د) **المقابلة** : وأما المقابلة فهي اكتشاف إشارات الرادار والتقاطها باستخدام نوع خاص من اجهزة الاستقبال ، وبهذه الطريقة يمكن للعدو أن يعرف الكثير عن مواقع الرادار وعن خواصه . ولما كانت هذه الطريقة سلبية فانها لن تُبحث بعد ذلك بتفصيل أوفى .

(ا) التداخل

إن الغرض من التداخل في الرادار هو إنتاج علامات مبهمة على شاشة انبوبة شعاع المهبط في مستقبل الرادار لارباك العامل وتضليله . في الإمكان مثلا جعل « الأثر » المنفرد على الشاشة يبدو كمجموعة من الخطوط المتشابكة أو كساحة كبيرة من الضوء أو كعشب كثيف جداً أو محو جميع الأصداء كلية من على الأثر . ويتوقف كل نوع من

انواع هذه التأثيرات على قيمة التداخل ونوعه ، أي أنه يمكن باحداث تغييرات في انواع التداخل الحصول على مجموعة لانهائية من التأثيرات على شاشة أنبوبة شعاع المهبط . ولاشك أن العدو يجني أعظم الفوائد بتداخله في أجهزة الرادار الدقيقة المستخدمة في ادارة نيران المدفعية المضادة للطائرات أو مدفعية السواحل إذ أن ذلك يمكن طائراته من شن هجومها وهي آمنة من أن تصاب بنيران دقيقة التصويب من المدفعية المضادة . كما أن التداخل يشل مقدرة العامل في الرادار على تحديد حجم ونوع الأهداف من أشكال الأصداء المرتدة منها . وفي استطاعة العدو أن يتداخل في الرادار وهو على مسافة أبعد من أقصى مسافة يعمل عليها الرادار إلا أن ذلك ليس في مصلحته ، فطالما أنه لم يكتشف بعد، ليس هناك داع لان يفضح وجوده بالتداخل . وفي اجهزة الرادار التي تستخدم الهوائيات التبادلية للاستفادة من أشكال رسومها القطبية التي تتغير بتغير ارتفاعها عن سطح الأرض Lobe Switching ، تنشأ اخطاء جسيمة في تعيين اتجاه الاهداف إذا حدث التداخل . وبالرغم من أن التداخل يمنع الرادار من إيجاد مسافات الأهداف الا أنه في الامكان معرفة الاتجاه التقريبي الذي ترسل منه اشارات التداخل ثم تحديد هذا المكان بمنتهى الدقة بعد ذلك بواسطة حساب المثلثات . وهناك نوعان اساسيان للتداخل : أولهما **التداخل الالكتروني** Electronic Jamming ، وثانيهما **التداخل الميكانيكي** . ويتم التداخل

الالـكتروني بارسال اشارات راديو معدّلة Modulated بينما يتم التداخل الميكانيكي بالقاء النافذة أو ما يشابهها .

وللتداخل الالـكتروني صور عديدة أكثرها تأثيراً هو ارسال « أصوات لاسلكية » مشتتة بتردد يقارب الى أقصى حد التردد الذي يعمل عليه الرادار المطلوب التداخل فيه . والرادار يعمل على نظرية الارسال والاستقبال في وقت واحد Two-way Transmission وتتناسب قوة الدفعة المرسلة من المرسل مع مربع مسافة الهدف ، ولما كانت الدفعـة تقوم برحلتين ذهاباً وإياباً فان قوة الصدى العائد تتناسب مع المسافة مرفوعة الى القوة الرابعة (أس ٤) تناسباً عكسياً . من هذا يتضح أن الاشارة الصادرة من مرسل التداخل تكون اقوى بمراحل من صدى الرادار ، وذلك لان إشـارة التداخل تقوم برحلة واحدة فقط ، وهي قد تُحمّل المستقبل فوق طاقته اذ انه بحكم تصميمه ذو حساسية شديدة حتى يستطيع استقبال اضعف الاشارات .

وفي كثير من الاحيـان تعمد الطائرة او المركب المعادية الى تزويد نفسها بمرسل للتداخل حتى تأمن اكتشاف الرادار لها وتسمى هذه الطريقة « التغطية الذاتية Self screening » ، واذا كانت مثل هذه الطائرة أو المركب مصحوبة بمراكب أو طائرات أخرى لا تقوم بالتغطية الذاتية فان الرادار لا يستطيع اكتشاف مثل هـذه المجموعة نظراً لأن الصدى واشارات التداخل لا تصدر كلهـا من مصدر واحد . ويمكن الاستدلال على قوة تأثير هـذا النوع من

التداخل من الواقعة التاليـة : استخدمت الطائرات الامريكية نوعا من التداخل الالكتروني يسمى « البساط Carpet » لأول مرة فوق برمن في المانيا وكانت النتيجة ان هبط معدل خسائر الطائرات ذات التغطية الذاتية الى نصف خسارة الطائرات الاخرى . ويقسم التداخل الالـكتروني الى قسمين :

١ – التداخل الموضعي Spot jamming

٢ – التداخل المنتشر Barrage Jamming

اما أجهزة التداخل الموضعي فانهـا تعمل على تردد واحد فقط ويستخدم معها جهـاز استقبال خاص لتوضيح الاشـارات المرسلة Monitoring حتى يمكن ضبط جهـاز التداخل على التردد المضبوط الذي يجب ان يتم التداخل عليه . ومثل هذه الأجهزة تحمل عادة في الطائرات أو على المراكـب وقد تقام على الأرض ، ويتوقف مداها على مدى الرؤية بالنظر المـكشوف أو أبعد منهـا قليلاً تبعاً لقوة الجهاز . وتحمل أجهـزة التداخل المنتشر عادة في الطائرات وتكون مؤثرة على مسافة قد تصل الى ١٠٠ ميل أو أكثر تبعاً لارتفاع الطائرة وقوة الجهاز . وتغطى هذه الأجهزة الأخيرة حزمة تردد سعتها ١٠ ميجاسيكل ،وفي بعض الحالات تزود بوحدة صـغيرة لالتقاط اشارات الرادار وتوليف جهاز التداخل أوتوماتيكياً على التردد المطلوب .

وفي يوم الغزو (عمليات نورماندي) استخدم نوع من التداخل

الالـكتروني اصطلح على تسميته « ماندارل Mandarel » ضد الرادار الالماني للانذار المبكر ، كما استخدم نوع آخر أطلق عليه اسم « سيجار الجو Air Cigar » للتداخل في مواصلات الطائرات الألمانية المقاتلة وارباك هذه المواصلات .

والتـداخل الميكانيكي يتم بالقاء الصحائف المعدنية الرقيقـة التي تعكس دفعات الرادار . ولهذا النوع من التداخل طرقا عديدة اكثرها شيوعا « النافذة » ويجوز تسميتها « القش » أو « الورق الشعري » أو « شعر العذراء » .... الخ . وهذه الصحائف عبارة عن ورق مغطى بطبقـة رقيقة جداً من المعدن طوله يساوي طول نصف الموجة المراد التـداخل في الرادار الذي يستخدمها . اما الطريقة الثانية فتسمى « الحبل Rope » وهو عبارة عن شريط رقيق جداً من المعدن طوله حوالي ٤٠٠ قدم يعلق بقطعـة دوبارة في مظلة هابطة صغيرة من الورق تلقى من الطائرة . اما الطريقة الثالثة فسميت « الملاك » وتتم بالقاء عواكس خفيفة جداً من صحائف الألمنيوم المربوطة الى مظلة هابطة صغيرة . وتستخدم « النافذة » ، « الحبل » في التداخل لارباك عمـال الرادار على اي تردد ، ولكن الاولى تتبـع حين تكون هوائيات الرادار أفقية بينما تتبع الثانيـة حين تكون الهوائيات رأسية .

وجميع انواع « النافذة » إما أن تلقى من الطائرات أو تطلق في صواريخ من السفن على هيئة حزم ، وهي تسبب ارتداد صدى

يمثل قاذفة قنابل أو مركب ثقيلة . وقد تحتوي الحزمة الواحدة على مجموعات من الصحائف المعدنية مختلفة المقاييس كي تتناسب مع مجموعة من الترددات المختلفة . ولما كان التداخل بواسطة « النافذة » يشمل تغطية منطقة محدودة بالجسيمات الصغيرة ، فان تعطيل اجهزة الرادار بمثل هذه الطريقة يختلف عن تعطيلها بالتداخل الالكتروني : ففي التداخل الميكانيكي بواسطة « النافذة » يتغير موضع الرقائق باستمرار بالنسبة الى الاهداف المراد تغطيتها ، وهذه الرقائق تتحرك مع الريح بسرعة تساوي ثلثي سرعته تقريباً وقد تكون سرعة المراكب المقصود تغطيتها أكبر أو أقل من سرعة الريح . فاذا لم تكن المساحة المغطاة بالنافذة كبيرة نسبياً استحال على السفن البقاء تحت حمايتها مدة طويلة نظراً لأنه من الصعب رؤية النافذة وهي في الهواء ، والنتيجة هي خروج الاهداف من المنطقة المغطاة فيسهل على الرادار اكتشافها . والنافذة تسبب ظهور كسرات أو حبات Pips على الاثر في شاشة انبوبة شعاع المهبط تشبه الى حد كبير تلك التي تسببها الاهداف الحقيقية ، أما التداخل الالكتروني فهو يملأ الاثر كله بأشكال غير مألوفة البتة .

وقد يكون أول دليل على قرب حدوث هجوم هو ظهور أصداء مرتدة من « النافذة » في اجهزة استقبال الرادار للانذار المبكر ، فاذا اقترب الهجوم وانتقلت مسؤولية تتبع الاهداف الى اجهزة الرادار الدقيقة الخاصة بادارة النيران فانه لمن أسهل الامور التداخل

في مثل هـذه الاجهزة تداخلاً مؤثراً لو أن « النافذة » وُزعت توزيعاً محكماً . ومن السطور التالية التي هي عبارة عن محادثة بين عمال الرادار الالماني وبين طياري المقاتلات الالمانية اثناء احدى غارات البريطانيين الجوية على همبورج يوم ٢٤ يوليو سنة ١٩٤١ يمكن تكوين صورة حية لما قد يسببه التداخل الميكانيكى من تأثير على أجهزة الرادار .

« فتش جيداً في منطقتك فلا بد من وجود كثير من الطائرات المعادية بجوارك »

« إن عدد الطائرات المعادية يتضاعف »

« اقطع الاتصال – إن الطائرات المعادية يزداد عددها بشكل مريع »

« إنها ورطة مؤسفة – سأشرح كل شيء حين تهبطوا »

ولقد هبطت الخسائر في هذه الغارة بالذات الى ٢٫٨ ٪ بعد أن كانت قد بلغت في غارة سابقة لها ٦٫١ ٪ ، والفضل كله راجع الى « النافذة » . واذا أراد العدو تغطية منطقة كبيرة بالنافذة فانه يلقى رزماً ضخمة منها وهذه الرزم اذ تتفكك تكون سحابة كبيرة من الصحائف الرقيقة التي تهبط بسرعة ٣٠٠ قدم في الدقيقة ، وتستمر الاصداء في الارتداد منها لمدة تتراوح بين ٢٠ و٣٠ دقيقة ، ويتوقف طول هذه المدة على الارتفاع الذي ألقيت منه النافذة كما يتوقف على مدى تغطية الرادار في المستوى الرأسي . وخطة التداخل يجب أن توضع بمنتهى الاحكام اذا اريد أن يكون هذا التداخل مؤثراً يحتاج الامر

الى كميات ضخمة من الصحائف الرقيقة والى معرفة جيدة جداً لخواص الرادار المنوي التداخل فيه . والاصداء المرتدة من « النافذة » تضعف بعد مرور عشر دقائق على القاء حزم الصحائف الرقيقة ولذلك يتوقف التداخل بانتهاء هذا الزمن . وفي كثير من الحالات التي استخدم فيها اليابانيون النافذة ضد أجهزة الرادار الامريكية لم ينجحوا تماما وذلك بسبب سوء إحكام خطة التداخل . وكان الحلفاء هم اول من استعملوا النافذة الا ان الالمان سرعان ما اكتشفوا أن الرقائق المعدنية التي كانت تُلقى لم تكن لتسمم الماشية كما أشيع في بادىء الامر وانما للتداخل ، وسرعان ما قلدوا وتفوقوا كعادتهم دائماً وخصوصاً اثناء عمليات ايطاليا وعلى الاخص في أنزيو .

(ب) الخداع

كان « الخداع » اقل الوسائل المضادة للرادار أثراً اثناء الحرب العالمية الثانية . وبالرغم من انه في الاستطاعة خداع الرادار باستخدام اجهزة الكترونية إلا انه من الصعوبة وضع التصميم المناسب لمثل هذه الاجهزة . اما الخداع باستخدام اجهزة ميكانيكية فيسور . وكان اليابانيون يزودون مراكبهم الصغيرة المعروفة باسم Sampans باجسام عاكسة خاصة حتى تبدو الاصداء المرتدة منها وكأنها من مراكب ضخمة ، ثم يرسلون هذه المراكب أمام القوافل الكبيرة على أن تتبع اتجاهات سير محسوبة غير تلك التي تتبعها القوافل نفسها ، فتظن السفن

الحربيــة الامريكية المزودة بالرادار انها قد كشفت القافلة وتتبع هذه السفن الصغيرة التي تضللها بينما تكون الاهداف الحقيقية آمنة في طريقها الى غايتهـا . ويمكن تركيب انواع اخرى من العواكس على بالونات طائرة أو على عائمات فوق سطح الماء فتعطى اصداء تبدو كأنها مرتدة من طائرات أو غواصات . والرادار تخدعه مثل هذه الأصداء لمدة قصيرة الا انها كافية لـكي تبتعد الاهداف عن مدى المدفعية المضادة .

(م) المراوغة

تعتبر « المراوغة » أقل الوسائل المضادة أهمية وبالذات لو اعتبرنا الاحتمالات التي سوف يأتي بها المستقبل . ففي الحرب العالمية الثانية كانت معظم اجهزة الرادار تعمـل على تردد واطي نسـبياً كما ان تصميم هوائياتها جعل من الصعب عليهـا اكتشاف الطائرات التي تحلق على ارتفاعات منخفضة ، ولكن يبدو من تطور العلم ان هذه العيوب لن تكون موجودة في رادار المستقبل وبالتالي فان المراوغة لن تجدي مع مثل هذه الاجهزة الجديدة .

والآن يطرأ سؤال يقول : هل هناك أمل للرادار في البقاء بعد كل هذه الوسائل المضادة ؟ أو هل معنى ظهور مثل هذه الطرق نهاية الرادار ؟ وهل يجب علينا أن نلجأ الى الوسائل البصرية العتيقة مرة اخرى للتفتيش عن الاهداف وتوجيـه النيران الدقيقة عليهـا ؟ للاجابة على هذه الاسئلة أقول لا واؤكدها تماماً ، فنحن يجب ان

تتوقع التداخل في كل العمليات المستقبلة التي قد يُستعمل فيها الرادار ضد أي عدو ، كما ان التداخل في حد ذاته يُضيع على المهاجم ميزة المفاجأة . وان عامل الرادار الماهر لو درب تدريباً كافياً لاستطاع دون شك ان يعمل بجهازه ويحصل على معلومات قيمة رغم كل الوسائل المضادة ، والدليل على ذلك ان عمال الرادار الذين تداخل العدو في اجهزتهم في تلك الليلة من فبراير سنة ١٩٤٢ لتسهيل مرور شارنهورست وزميلتها عبر القنال الانجليزي تمكنوا بعد ذلك ، وبعد أن دُرّبوا على استخلاص الاصداء الدالة على الاهداف رغم اي نوع من انواع التداخل ، من تتبع الأهداف بمنتهى الكفاءة رغم وجود التداخل . وانه لمن اصعب الامور جعل التداخل مؤثراً ١٠٠ ٪ ولذلك فان العامل المدرب يمكنه الحصول على بعض المعلومات رغم انف التداخل . والمستقبل كفيل بأن تتم التحسينات التي تدخل على الرادار كي يقاوم كل الوسائل المضادة لاقصى درجة .



الملحق الثاني

للفصل الثالث عشر

نظام الاقتراب بالادارة الارضية

Ground Control Approach System

كانت الأحوال الجوية الى عهد قريب تعتبر عقبة كؤود تعترض هبوط الطائرات ، فلو أن إحدى الطائرات التجارية في وقت السلم وصلت الى الميناء الجوي المفروض ان تهبط فيه ووجدت أن الرؤية متعذرة بسبب سوء الأحوال الجوية وان الضباب يجثم على المطار مغطياً اياه على ارتفاع اقل من ١٠٠ قدم لأدار قائدها عجلة القيادة راجعاً من حيث أتى دون ان يجازف بطائرته وركابه بالهبوط . اما في العمليات الحربية فالحالة تختلف اذ أن الطيار ملزم بأن يستمر في طريقه مهما ساءت الأحوال الجوية وأن يعوّد نفسه على اقتحام الضباب والهبوط في المطارات تحت أسوأ الأحوال الجوية ، وكم من طيار راح هو وطائرته ضحية هذا العمل في أيام الحرب : كان الطيار يقطع بطائرته الف ميل أو أكثر مقتحماً طريقه وسط العواصف والزوابع ثم يشتبك مع طائرات العدو ويقهرها ليعود بعد ذلك الى ارض الوطن ، ولكنه اذ يصل يبدأ في تحسس طريقه الى المَدْرَج Runway وغالباً ما كان ينتهي بأن يذهب ضحية تصادم مريع مع ارض المطار . وقبيل اختراع الرادار واستخدامه على نطاق واسع

كان الاقتراب الاعمى يتم الى حد ما بواسطة « الراديو » ولكن ليس في الليالي الحالكة السواد نظراً لأن المراقب الموجود في برج المطار يكون هو والطيار سواء في مثل هذه الليالي من حيث قدرتهما على رؤية المدرج . كما ان اضواء الارشاد التي توضع عادة على جانبي المدرج لاتساعد الطيار كثيراً على تمييزه الا اذا اقترب منها الى حد كاف كي يراها ، ومن الواضح ان هذا العمل ينطوي على اعظم خطر. وعلى ذلك تركزت المشكلة كلها في ايجاد وسيلة ما لاكتشاف المدرج ومعاونة الطيار في الاقتراب ثم الهبوط، ولحل هذه المشكلة كان من الضروري اختراع اجهزة ارضية غير بصرية أي لاسلكية . ومن ثم فقد اتجه التفكير الى الرادار كمنقذ ، فهو يستطيع ان يخترق بأشعته سحب الضباب الكثيفة كما انه لا يعبأ بالأحوال الجوية السيئة بل يبذل اقصى مساعدة للطيار حتى يهبط آمناً في اشد الليالي ظلمة وكأن مقدم الطائرة يقترب من المدرج وقد سلطت عليه اقوى الانوار .

ولقد اطلق تعبير « *نظام الاقتراب بالادارة الارضية* G. C. A. » على هذا الرادار الجديد الذي هو في الواقع مجموعة اجهزة تكوّن شبكة تؤدي واجباً مشتركا : فهو عبارة عن محطة رادار محمولة على سيارة ووظيفتها تتبع الطائرة إذ تقترب من المطار ثم توجيه الطيار ليقترب بنجاح حتى يهبط بأمان حتى ولو كانت درجة الرؤية صفرا . وفي امكان عمال الرادار القائمين بتشغيل هذه المحطة ، حتى ولو كان الضباب منتشراً وكثيفاً ، ان يكتشفوا موقع الطائرة التي تروم الهبوط وان يوجهوا طيارها ويرشدوه كي يقوم

بالمناورة اللازمة حتى يأتي بطائرته في موضع مناسب يبدأ منه عملية الاقتراب ، وبعد ذلك يتتبعون الطائرة محددين اتجاهاتها وارتفاعاتها باستمرار ويرشدوا الطيار بواسطة التلفون اللاسلكي اثناء اقترابه هابطا حتى يصبح على ارتفاع اقل من خمسين قدما من مركز المدرج . ومحطة الرادار هذه خفيفة الحركة ، ففي الامكان تحريكها الى اي مكان يراد لها ان تعمل فيه وكل الذي تحتاجه هو عملية توجيه دقيقة جداً قبل ان تبدأ عملها في المكان الجديد (سبق وعرفنا كيف تجري عملية التوجيه لجهاز الرادار) . وهذا الرادار يقام عادة في اتجاه الريح وعلى بعد ٢٥٠ قدماً تقريباً من مركز المدرج وقريباً من نهايته التي ترتفع عندها الطائرات Takeoff end . وهو لا يوضع عموديا على المدرج بل منحرفا عنه بزاوية قدرها ٨٤° تقريباً وذلك لاسباب فنية خاصة بنوع الهوائيات المستعمل ، اى انه يواجه خطا موازيا للمدرج . وهو يغطي باشعته قطاعا يقابل عشرين درجة في الاتجاه : ٥ درجات لجهة اليمين ، ١٥ درجة لجهة اليسار ، وهو يحتاج الى قوة كهربائية ضخمة لتشغيله ويستمد هذه القوة من مولد كهربائى متنقل يقطر وراءه دائما اينما نقل . والاجهزة الآتية هي المكونات الاساسية لهذا النوع من الرادار :

١ — جهاز للتفتيش البعيد المدى وهو خاص بمدير المرور في المطار Traffic controller .

٢ — جهاز للتفتيش البعيد المدى وهو خاص بمنتخب الطائرات Plane Selector .

٣ — جهاز لتحديد اتجاه الطائرات بدقة .

٤ — جهاز لتحديد ارتفاع الطائرات بدقة (قياس زوايا البصر) .

٥ — مقياس الخطأ Error Meter لتسجيل موقع الطائرة الفعلي بالنسبة لطريق هبوط نموذجي .

٦ — نظام متعدد الشعب للاتصال بالراديو وذلك لمخاطبة الطائرات المقتربة وتبليغها الارشادات المطلوبة .

ووظيفة جهاز التفتيش البعيد المدى هي تعيين مواقع الطائرات المقتربة حين تصبح على مسافة ٣٠ ميلا من المطار ، وهذا الجهاز يستخدمه مدير المرور . ويستخدم منتخب الطائرات جهازاً آخر من نفس النوع يظهر على شاشة دليل الموقع فيه نفس ما يراه مدير المرور ، الا ان وظيفته هي انتخاب طائرة من مجموعة طائرات مقتربة وتوجيهها الى الموضع المناسب لكي تبدأ منه عملية الاقتراب للهبوط . أما أجهزة تحديد الاتجاه والارتفاع فلمعاونة مدير الاقتراب في توجيه الطائرة الى المدرج وذلك بطريق غير مباشر : فهو ، اي المدير ، يقرأ مقياس الخطأ — الذي تصل اليه المعلومات من جهازي التحديد — ثم يوصل هذه المعلومات الى الطيار بواسطة الراديو .

والآن هيا بنا نبحث النظام كله بالتفصيل حتى نكوّن صورة واضحة عنه : يدور هوائي جهاز التفتيش خلال ٣٦٠ درجة مغطياً كل المنطقة المجاورة بدفعات لاسلكية ، فاذا كانت هناك طائرة داخل مدى الجهاز ارتدت منها بعض الأصداء فيلتقطها الهوائي وتمر في دوائر الاستقبال

حتى تظهر على شاشة انبوبة شعاع المهبط . ويمكن للعامل ان يرى صورة صدى الطائرة على الشاشة وحوله خريطة دقيقة للمنطقة المجاورة للمطار ، وعلى هذه الخريطة تبين العوائق والتلال وخطوط القوى الكهربائية.. الخ. كما يبين عليها طريق اقتراب نموذجي Glide path الى المدرج يناسب نوع وخواص الطائرة المقتربة . اي انه بالنظر الى شاشة انبوبة شعاع المهبط يمكن الحصول على جميع المعلومات اللازمة لارشاد الطائرة في هبوطها . وحتى بفرض وجود اكثر من طائرة واحدة تريد الهبوط فإن الطائرة المنتخبة هي التي تظهر فقط على شاشة دليل الموقع في جهاز منتخب الطائرات وهي التي تقدّر مسافتها بالطريقة العادية بواسطة الرادار . ويقوم مدير المرور بترتيب الطائرات المقتربة ثم يبلغ المنتخب عنها واحدة فواحدة فيقوم هذا الاخير بمراقبة طيرانها على شاشة دليل الموقع في جهازه ويرشدها الى طريق الاقتراب النموذجي ، وإذ يصبح بُعد الطائرة عن المدرج اقل من عشرة أميال تتولى أجهزة التحديد عملية تتبعها بمنتهى الدقة . ولكل من جهازي التحديد دليلاً موقع من نوع خاص حديث يسمى « *دليل الموقع الممدود* » Expanded Position Indicator وميزته ان قطاع شاشته الذي تظهر فيه أصداء مرتدة من أهداف يكبّر ويُمد حتى يسهل اكتشاف أدنى تغيير في مسافة او اتجاه الهدف، وهو امر ضروري في اجهزة التحديد . ولقد ذكرت ان لكل جهاز دليلَيْ موقع من هذا النوع ، الأول منهما يكبر قطاعاً قدره عشرة اميال من مساحة المنطقة التي بها الأهداف وعلى شاشة الثاني يتضاعف تكبير الميلين

الأخيرين من هذه الأميال العشرة مما يساعد القائمين بالعمل على دقة الارشاد حين تكون الطائرة على بُعد عدة أقدام من بدء طريق الاقتراب للهبوط . وفي كلا الجهازين يظهر موقع الطائرة دائماً بالنسبة الى طريق اقتراب نموذجي قد رُسم من قبل ليلائم نوع الطائرة . ويغطي شعاع جهاز تحديد الاتجاه منطقة في المستوى الأفقي تقابل ٢٠ درجة ، أما شعاع جهاز تحديد الارتفاع فهو يعمل في المستوى الرأسي مغطياً منطقة تمتد من ١ درجة أسفل المستوى الأفقي الى ٦ درجات اعلا المستوى الأفقي . ولما كان كلا الشعاعين يتكون من دفعات لاسلكية فانه في إمكان جهازي التحديد معرفة مسافة الهدف فضلاً عن اتجاهه او ارتفاعه .

والآن لنفرض ان طائرة اقتربت حتى اصبحت داخل مدى جهازي التحديد فما الذي يحدث ؟ تصل الاصداء منها الى هوائيات الجهازين فيستدل عامل جهاز تحديد الارتفاع على ارتفاع الطائرة بينما يستدل عامل جهاز تحديد الاتجاه على اتجاهها بالنسبة للشمال الحقيقي . ولكن هذا الكلام لايعتبر دقيقاً تماماً نظراً لان هوائي جهاز تحديد الاتجاه يكون عادةً موجهاً على المستوى الافقي فلا تصله اصداء مرتدة من الطائرة المرتفعة ، ولما كان عامل جهاز الارتفاع يعرف ارتفاع الطائرة بالضبط لان هوائي جهازه موجه عليها فانه يقوم برفع هوائي جهاز الاتجاه بطريقة ميكانيكية وبواسطة قدمه حتى يصبح هذا الهوائي موجهاً على الطائرة بالضبط، وفي نفس الوقت يقوم عامل جهاز الاتجاه بتوجيه هوائي جهاز الارتفاع بنفس الطريقة كي يصبح في اتجاه الطائرة تماماً ويستطيع كل من العاملين ان يتبين ان هوائي جهاز زميله

قد اصبح موجهاً توجيهاً دقيقاً على الهدف من مراقبة مؤشر خاص امامه.
ويستمر الجهازان في تتبع الطائرة وتحديد اتجاهاتها وارتفاعاتها المتغيرة باستمرار ، وحينما تصبح الطائرة على بُعد ميلين من المدرج تظهر الأصداء المرتدة منها على شاشة دليل الموقع الثاني (الذي يكبر الميلين الاخيرين) وتكون الكسرات التي في الأثر أكبر وأوضح بكثير مما كانت عليه في دليل الموقع الاول وهذا يساعد على دقة إرشاد الطائرة وعلى اكتشاف أي انحراف منها عن الطريق الصحيح . وطريقة تتبع الطائرة بواسطة هذين الجهازين هي ان يدير العامل منجلة ميكانيكية صغيرة تحرك مسطرة شفافة مركبة على شاشة دليل الموقع ، وعلى العامل ان يجعل هذه المسطرة باستمرار مطابقة لمركز الكسرة التي يسببها الصدى المرتد ، وأينما تحركت الطائرة سواء الى أعلا أو أوطى ، يمين او يسار طريق الاقتراب الصحيح ، فان المسطرة يجب ان تتبعها باستمرار . و تُسجَّل حركات المساطر على مقياس الخطأ : فاذا كانت الطائرة مرتفعة او منخفضة اكثر من اللازم يظهر مقدار الخطأ على مقياس الخطأ بالأقدام مباشرة ، وما يقال عن الارتفاع يقال عن الاتجاه ، كما يمكن الاستدلال بالطبع من النظر الى مقاييس الخطأ على ان الطائرة متبعة الطريق الصحيح . وبمساعدة هذه المقاييس يتسنى لمدير الاقتراب ان يرشد الطيار الى خط السير الدقيق الصحيح الذي يجب ان يتبعه لكي يقترب اقتراباً آلياً ناجحاً من المدرج . كما ان مسطرة جهاز تحديد الاتجاه تكون عادة متصلة بجهاز صوتي يعمل حيث يدير مدير الاقتراب مفتاحاً خاصاً ، فاذا كان الطيار متبعاً الطريق الصحيح سمع

اشارات قصيرة حادة (كاشارات ضبط الوقت التي نسمعها في اجهزة استقبال الراديو) واذا انحرف يميناً سمع نغمة خاصة تتفاوت شدتها بتفاوت مقدار الانحراف ، واذا انحرف يساراً سمع نغمة من نوع آخر .
وفي استطاعة عمال « نظام الاقتراب بالادارة الأرضية » أن يكونوا على اتصال دائم بالطيار بواسطة الراديو ، ولقد سبق ان أوضحنا ان هناك نظاماً متعدد الشعب لهذا الاتصال : فالشعبة ا بين مدير المرور والطيار ، والشعبة ب بين منتخب الطائرات والطيار ، والشعبة ج بين مدير الاقتراب والطيار . ويتطلب نجاح عمليات الاقتراب بواسطة الرادار تعاوناً تاماً بين جميع القائمين بهذا النظام بما فيهم الطيار نفسه . ولقد رأيتُ ان أورد مثالاً لما يحدث اثناء اقتراب طائرتين تريدان الهبوط في احوال جوية سيئة للغاية علماً بأن الاسم الاصطلاحي لأي شخص في المطار هو « كتاب » :

يبدأ الطيارون بالاتصال بالبرج في المطار ويبلغوا المراقب عن اماكنهم وعن اسمائهم الاصطلاحية مقرونة برقم الطائرة ، ولنفرض ان الطائرة الاولى كان اسمها « نسر » والثانية « صقر » . فيقوم المراقب بمراجعة اتجاهات الطائرتين والتأكد من ان كليهما داخل مدى شعاع جهاز الاقتراب ثم يتصل بهما بواسطة الراديو قائلا :

المراقب : « لقد اتصلنا بجهاز الاقتراب ليلتقطكما وسوف يتم ذلك في دقائق معدودة فتهبطا بأمان »

وإذ تظهر الكسرات على شاشة دليل الموقع في جهاز التفتيش يتكلم مدير المرور عن طريق الشعبة ا مخاطباً الطيارين .

المدير : « كتاب ينادي صقر . هل تسمعني . حوّل »
صقر : « صقر يتكلم . أسمعك بوضوح . حوّل »
المدير : « كتاب ينادي صقر . ما هي مسافتك التقريبية وارتفاعك واتجاه سيرك . حوّل »
صقر : « صقر يتكلم . المسافة التقريبية ٢٥ ميلا . الارتفاع ٣٥٠٠ اتجاه السير ١٣٥ . حول »
المدير : « كتاب ينادي صقر ونسر . راجع بوصلة القيادة . حول »
نسر : أراجع بوصلة القيادة . انتهى .

ثم تنقضي بضع ثوانٍ يستأنف بعدها المدير ارشاداته .

المدير : كتاب ينادي صقر . در يساراً ٩٥ درجة . حول .
نسر : انتهى .

يمكن في هذه اللحظة لمدير المرور ، بمراقبة الطائرتين ، ان يعرف ايهما هي صقر ، اذ انها هي التي تبدأ الدوران يساراً في ذلك الوقت ، ثم يرشد صقراً الى طريق الاقتراب بينما يواصل ادارة طيران نسر عن طريق الشعبة ا حتى يتم هبوط صقر ويبدأ بعدها في ارشاد نسر للهبوط . ومن شاشة دليل الموقع في جهازه يستدل على ان مسافة صقر اصبحت ثمانية اميال وان مسافة نسر سبعة عشر ميلا وانها (اي نسر) مستمرة في الطواف حول المطار . وبعد مضي بضع دقائق يعود المدير مرة اخرى الى الاتصال بصقر .

المـدير : كتاب ينادي صقر . مسافتك الآن حوالي ٨ ميل جنوب غربي المطار . در يساراً ٥٠ درجة . حول .

نسـر : أدور يساراً ٥٠ درجة . انتهى .

المـدير : كتاب ينادي صقر . حول الى الشعبة ب . حول .

نسـر : حولت الى الشعبة ب . انتهى .

في هذه اللحظة تكون الاصداء المرتدة من صقر هي الظاهرة فقط على شاشة دليل الموقع في جهاز التفتيش الخاص بمنتخب الطائرات نظراً لان مسافتها ثمانية اميال ، اما الاصداء المرتدة من نسر فلا تكون ظاهرة لان مسافتها اكثر من خمسة عشر ميلاً ولذلك فهي خارج مدى الشاشة . و من هنا يبدأ عمل منتخب الطائرات .

المنتخب : كتاب ينادي صقر على الشعبة ب . هل تسمعني . حول .

صقـر : أسمعك بوضوح . حول .

ثم ينظر المنتخب الى شاشة دليل الموقع ويتبع موقع الطائرة بالضبط بينما هو مستمر في إعطاء الارشادات اللازمة لهبوط الطائرة .

المنتخب : كتاب ينادي صقر . استعد للهبوط . اخفض العجل Undercarriage . اخفض القلابات الجانبية Partial flaps . حول .

ثم ينظر مرة أخرى الى شاشة دليل الموقع ويستمر في اعطاء تعلياته للطيار نتيجة لما يراه .

المنتخب : كتاب ينادي صقر . در يساراً ٣٥٥ . حول .

نسر : انتهى .

والآن تتقدم الطائرة في اتجاه طريق الاقتراب للهبوط وهي على الارتفاع المناسب ، وتستمر في الاقتراب حتى تظهر كسرة ضوئية على شاشة دليل الموقع الممدود ذات العشرة اميال في كل من جهاز تحديد الارتفاع وجهاز تحديد الاتجاه وتكون مسافة هذه الكسرة سبعة اميال . وفي الحال يحرك العاملان المناجل اليدوية ليأتوا بالمساطر فوق هذه الكسرة تماماً ، ثم يعود المنتخب الى الاتصال بالطائرة مرة اخرى .

المنتخب : كتاب ينادي صقر . در يساراً ٣١٥ . حول .
نسر : أدور يساراً ٣١٥ . انتهى .
المنتخب : كتاب ينادي صقر . مسافتك الآن سبعة أميال . حول الى الشعبة ج . حول .

والآن نحن في المرحلة الاخيرة من مراحل عملية الاقتراب للهبوط وفيها يتصل مدير الاقتراب بالطيار عن طريق الشعبة ج .

مدير الاقتراب : كتاب ينادي صقر على الشعبة ج . هل تسمعني . حول .
صقر : أسمعك بوضوح . حول .
مدير الاقتراب : كتاب ينادي صقر ونسر . استمرا في وضع الاستقبال حتى النهاية . حافظ على ارتفاعك الحالي والاتجاه ٣١٥ . المسافة أقل من سبعة أميال . حول .

ويراقب مدير الاقتراب مقاييس الخطأ بمنتهى الدقة ثم يعود الى الكلام مرة اخرى .

مدير الاقتراب : الاتجاه جيد . حافظ على الارتفاع الحالي . انحرف يساراً ٣ درجات . الاتجاه يتحسن . انحرف يميناً ٣ درجات . الاتجاه جيد جداً الآن . حافظ على خط السير الحالي .

وبعد مضي بضع ثوانٍ اخرى .

مدير الاقتراب : أنت الآن على طريق الاقتراب . الاتجاه جيد جداً . حافظ على الارتفاع . المسافة الآن أقل من ستة أميال . الاتجاه ما زال جيداً جداً . ولكن ماهذا ؟ انحرف يميناً ٢ درجة. الاتجاه لا يتحسن . انحرف يميناً ٢ درجة . انك تبتعد عن طريق الاقتراب . انحرف يميناً ٤ درجة . ها هو الاتجاه يتحسن ، والآن يساراً ٢ درجة . الاتجاه يتحسن. يساراً ٢ درجة أخرى . الاتجاه جيد جداً الآن . حافظ على الارتفاع الحالي . المسافة أقل قليلا من خمسة أميال . أنت الآن عند بدء طريق الاقتراب . ابدأ معدل النزول بخمسمائة قدم في الدقيقة .

فتبدأ الطائرة في النزول ويعود مدير الاقتراب الى التكلم مرة اخرى.

مدير الاقتراب : معدل النزول جيد جداً . المسافة الآن أربعة أميال . لقد بدأت تنحرف قليلا الى اليمين . يساراً ٢ درجة . انك منخفض ٥٠ قدماً عن الارتفاع الصحيح . قلل معدل النزول . لقد أصبحت منخفضاً ٧٥ قدماً عن الارتفاع الصحيح . الاتجاه جيد . المسافة ٣ ميل . انحرف يميناً ٢ درجة . انت الآن منخفض ١٠٠ قدم عن الارتفاع الصحيح . قلل معدل النزول .

ثم يلاحظ مدير الاقتراب ان مؤشر مقياس الخطأ يتحرك دالا على تحسن في الارتفاع فيعاود الكلام الى الطيار .

مدير الاقتراب : الارتفاع يتحسن . أنت الآن منخفض ٧٥ قدماً عن الارتفاع الصحيح . الخطأ ٥٠ قدماً... ٢٥ قدماً . حافظ

على معدل النزول . الارتفاع جيد جداً . لقد أبدعت في
هذا التصحيح كما ان الاتجاه جيد جداً . هأنتذا تتلقى
إشارة النزول Encore Signal .

حينئذ يمسك الطيار بعتلة القلابات ، ويظهر في هذه اللحظة صدى على شاشة دليل الموقع الممدود ذات الميلين في جهازي تحديد الاتجاه والارتفاع ويبدو الصدى واضح جداً مما يسهل اكتشاف اقل حركة تقوم بها الطائرة وهي تتجه بسرعة نحو المدرج .

مدير الاقتراب : انحرف يميناً ٣ درجات . الارتفاع جيد . والآن يساراً
٣ درجات . المسافة ميل واحد فقط . الاتجاه والارتفاع
أحسن ما يكونا حافظ عليهما . طيران بديع في الواقع .
أنت تقترب من المدرج . المسافة نصف ميل . حافظ على
اتجاه السير بمنتهى الدقة . أنت الآن فوق أول المدرج .
الاتجاه والارتفاع مدهشين . مِسّ الأرض في مدى أربع
ثوانٍ . لقد أصبحت على أرض المدرج فتسلم العملية .
لك تهانئي القلبية .

وهكذا يهبط الطيار بمنتهى الأمان ثم تبدأ السلسلة من جديد لهبوط الطيار الآخر . ولست اشك في ان جميع الطائرات التجارية لن تجد حرجاً في المستقبل في الهبوط في اي مطار مهما ساءت الاحوال الجوية بدلا من ان تعود ادراجها . وهكذا الرادار دائماً . . .

الفصل الرابع عشر

الرادار في السلم

للمدنية الحق في ان تبغض الحرب وتمقتها لما تجره من ويلات وخراب ولما ينشأ عنها من مجازر بشرية تودي بأرواح الملايين من شباب الشعوب . ولكن من الاجحاف ان ننكر انه في الحروب وبسببها تحدث تطورات وتظهر اختراعات خطيرة تجني منها الانسانية والمدنية اعظم فائدة • فالأمة حين تحارب في سبيل كيانها وبقائها تجد انه من الطبيعي ان تستغل كل وسيلة ممكنة تدخل في مقدور البشر لكى تجعل ارضها وجوها ومياهها مستقراً خطراً بالغ الخطورة لقوات العدو برية كانت أو بحرية أو جوية ، كما انها تعمل المستحيل في سبيل جعل هذه الارض وهذا البحر آمن امكنة لقواتها المتحابة تجد فيه الراحة التامة والمؤن الوافية والذخيرة والعتاد • وهذه هى الطريقة الوحيدة التي تولد الامل في نفوس الشعوب في امكان احتفاظها بكيانها واستقلالها ، كما ان الدول المختلفة تجند العلماء والموارد في سبيل السير بالبحوث العلمية الى اقصى حدود النجاح دون اقل مراعاة للناحية المالية ، فالوقت هو العامل المسيطر الذي يجب التغلب عليه حتى تفوز الدولة في حلبة السباق العلمي وتنتج باسرع ما يمكن

الاختراعات العظيمة التي توجّه بها اخطر الطعنات لصدر العدو كما ترفع بها الروح المعنوية بين الاصدقاء والحلفاء . ولكل هذه الاسباب تركّز العقول الجبارة والطاقة البشرية في سبيل تحويل النظريات العلمية الى اختراعات عملية في اقصر وقت ، الأمر الذي لا يتسنى حدوثه وقت السلم . ففي الحرب وتحت ضغط ظروفها القاهرة تظهر اختراعات واجهزة جديدة قد تم انتاجها في اشهر في حين كان يحتاج ظهورها الى سنين عديدة في وقت السلم .

والأمثلة على ذلك كثيرة : ففي عام ١٩١٤ لم يكن التليفون اللاسلكي اكثر من بداية موفقة لمشروع جليل ولكن شبوب نيران الحرب دفع هذا المشروع بقوة جبارة فلم تنته الحرب الأولى وقد اكتمل نموه ومهد الطريق للاذاعة اللاسلكية التي اصبحت منذ ذلك الوقت عاملا اساسياً لا نستغني عنه في حياتنا اليومية . اضف الى ذلك هذا التقدم العظيم الذي تم في العلوم الطبية كنتيجة للمجهودات المضنية التي بذلت خلال الحرب العظمى الاولى والذي ميزّه التطور العظيم فى الجراحة وظهور جراحة التجميل Plastic Surgery والانتصار الساحق على حمى التيفوئيد . ولا اظنني بحاجة الى الكلام عن التطور الذي حدث في عالم الطائرات والسيارات .

وفي خلال هذه الحرب الاخيرة التي اكتوينا بنيرانها زهاء الست سنوات تقدمت العلوم اشواطا طويلة بعيدة المدى وظهر من الاختراعات ما استُخدم في الاغراض الحربية وما هو الآن في

طريقه الى الاستخدام السلمي لتوفير الراحة والرفاهية لبني الانسان .
وها هي القنبلة الذرية التي قيل فيها انها افظع سلاح مدمر ظهر حتى الآن على وجه الارض وهى التي اخترعت نتيجة لاجتماع اعظم عقول البشر العلمية ، اقول ها هى تتطور الآن او بتعبير اصح تتطور النظرية المبنية عليها في سبيل تحويلها الى خدمة البشر . فنفس العقول الضخمة التي انتجتها هي التي اجتمعت ثانياً لتقرر احسن السبل لاستغلال الطاقة الذرية في خدمة الانسان وذلك لادارة الآلات والسيارات ووسائل النقل البحرية والجوية وللتدفئة والتبريد وللاضاءة .... الخ .

واولئك العلماء الذين فكروا عام ١٩٣٩ في امكان استخدام الطاقة الذرية في خدمة الانسانية كانوا يقدرون وقتا لا يقل عن خمسين عاماً كى تتحق آمالهم وتصبح واقعاً كما كانوا يقدرون مبالغ هائلة من المال تنفق في هذا السبيل . فجاءت الحرب وتحقق هذا الحلم ولم يزد ما أنفق على تحقيقه على ٥٠٠ مليون جنيه وتمكن نخبة من افذاذ العلماء في الولايات المتحدة يعاونهم بعض الكنديون والبريطانيون وغيرهم من الجنسيات الاخرى من انتاج القنبلة الذرية في ما لا يزيد على خمسة اعوام . (كثرت الشائعات القابلة للتصديق وهى تروى ان القنبلتين الذريتين اللتين القيتا على هيروشيما وناجازاكي كانتا المانيتين بدليل ان تجارب بيكينى لم تنجح النجاح المرتقب) .

ولم يكن الرادار في وقت الحرب اكثر من اداة يستغلها العسكريون في اسقاط واغراق اكبر عدد ممكن من الطائرات المعادية،

فهذا الجهاز لم يُنتج ولم يتطور الا كسلاح حربي فقط . ولكن لاشك في انه سيكون له خطره وشأنه في حياة السلم : فباستخدامه سيصبح السفر مأموناً عبر البحار وعلى متن الجو إذ أنه سيمنع وقوع الأحداث التي كان هو نفسه مطالباً بتوكيد وقوعها في وقت الحرب كاسقاط الطائرات واغراق السفن . ولما وضعت الحرب اوزارها كان كل شيء معداً كي يستخدم الرادار في الحياة المدنية : فمساعداته العجيبة الملاحة الجوية والبحرية اثناء الحرب هي التي اعطت الفكرة لاستخدامه في بذل نفس هذه المساعدات اثناء السلم دون ان يحتاج الامر لأي تعديل او تغيير في الاجهزة ، ومعظم الذين اتيحت لهم فرصة ركوب البحر او الجو في رحلات طويلة بعد انتهاء الحرب قد استفادوا دون ان يشعروا من المساعدات التي قدمها الرادار كي يجعل رحلاتهم اكثر امناً .

وصندوق الأنباء الذي جاء ذكره في الفصل السابق هو احد اجهزة الرادار السلمية . وكما ظنناً ان مقياس الارتفاع المطلق الذي يستخدم الموجات فوق القصيرة قد وصل بالابحاث العلمية الى مدى يقرب من الكمال ثم كُذّب هذا الظن بظهور صندوق الانباء الذي يستخدم الموجات السنتيمترية والذي فاق مقياس الارتفاع المطلق بمراحل عديدة ، فلا شك في ان المستقبل كفيل باظهار ما هو افضل بكثير من صندوق الانباء

ولما كان استخدام الموجات السنتيمترية في هذا الصندوق هو الذي يمكنه من ابراز تفاصيل الهيئات الأرضية على شاشة انبوبة

شعاع المهبط فيه ، فلا غرو اذن اذا نحن توقعنا ان يعمل صندوق الانباء في المستقبل بموجات ملليمترية تجعل في استطاعة الطيار ان يرى تفاصيل الارض التي تحته بمنتهى الوضوح بالضبط كما لو كانت معه خريطة فوتوغرافية للمنطقة التي يطير فوقها سواء كان طيرانه في وضح النهار او في ظلمة الليل او فوق ستائر الضباب . ووجه الشبه عظيم بين صندوق الانباء الموجود حالياً وبين جهاز التلفزيون الاول ، وكذلك بين صندوق الانباء الذي نتوقع اختراعه في المستقبل وبين جهاز التلفزيون الموجود حالياً والذي نرى على شاشته الصور بمنتهى الوضوح بل وبالألوان الطبيعية .

وحين يأتي الوقت الذي يتوصل فيه العلماء الى ارسال الموجات الملليمترية بقوة هائلة فان تليفزيون الرادار « صندوق الأنباء في المستقبل » سوف يتطور تطوراً عظيماً جداً : ففي الوقت الحالي تظهر المراكب والطائرات على شاشة انبوبة شعاع المهبط كحرف ٨ على الأثر المضيء ولكن المنتظر مع التطور الجديد ان يأتي يوم يستطيع فيه عامل الرادار ان يرى الشكل الفعلي للاهداف على شاشة انبوبة شعاع المهبط وبالتالي يصبح في امكانه ان يتعرف على هذه الاهداف دون اقل لبس او غموض ، ولقد تأكد الآن امكان استخدام الموجات الملليمترية في المستقبل القريب . والرادار كما هو الآن يفيد الانسانية فوائد لا ينكرها منصف ، فكم من مرة تناقلت الالسن القصص المرعبة التي تروى عن اولئك الناجين من باخرة

غرقت فيبقون في قارب مفتوح تتقاذفه الأمواج في عرض المحيط ایاما طوالا وليس لديهم امل الا في ان تراهم باخرة أو طائرة بمحض الصدفة فتعمل على انقاذهم . ولكن منذ الآن لن تكون مهمة البحث عن ضحايا باخرة غريقة او الناجين من طائرة سقطت من المهام الصعبة التي يحف الشك بنجاحها . فجهاز « الطائرة الى المركب السطحي » الذي سبق وتكلمنا عنه في الفصل السابق قد استخدم في الحرب، بجانب اكتشافه للغواصات المعادية الطافية فوق سطح الماء ، في اكتشاف الطيارين الذين كانوا يهبطون الى البحر هبوطا اضطراريا . ولقد أثبت هذا الجهاز انه ذو حساسية عجيبة إذ كان يكتشف القوارب الصغيرة التي تَسع رجلين فقط على مسافات بعيدة جداً . كما اضحى الرادار من اهم الاجهزة التي تستخدم في معونة السفن على الملاحة البحرية : ففيما مضى كان الضباب والثلج المتساقط هما الكابوس المزعج الذي يجثم على صدور ضباط المراكب التي تمخر عباب الممرات الضيقة او التي تسير في الطرق البحرية المحدودة التي تكثر فيها الملاحة ، اذ أنه في مثل هذه الاحوال تعجز العين البشرية مهما بلغت حدتها عن الرؤية في أي اتجاه ابعد من عدة امتار . وما يقال عن العين يقال عن الاذن ، فهي لا يمكن ان يُعتمد عليها كمرشد صادق للدلالة على الاتجاه الذي يصدر منه صوت ما اذا كانت هناك مركب اخرى ترسل انذارها من صفارتها من اتجاهات مختلفة . وجهاز الرادار معصوم من ان يقع فريسة لمثل التأثيرات السابقة ، فهو يزود المركب التي تسترشد به

بمعلومات دقيقة صائبة عن محلها بالضبط وعن اتجاهات سير وسرعات المراكب الأخرى غير المنظورة لضباطها ورجالها، كما ان الرادار يكتشف جبال الثلج والاجسام الشاردة الطافية حتى لا تصطدم بها المراكب وبذلك تسهل الملاحة في المياه غير المطروقة او الغريبة عن ربان السفينة أو التي لم ترسم لها خرائط دقيقة ، كما انه يقلل من الاخطار التي تنشأ من عدم اضاءة السواحل . ومن الآن فصاعداً سيستطيع الصياد في مركبه الصغيرة أو قاربه ان يؤدي عمله في المياه العميقة تحت الاحوال الجوية القاسية وهو آمن على نفسه من الاصطدام بالمراكب الكبيرة التي تشق طريقها بجواره وذلك لأن هذه المراكب تملك الرادار الذي يكتشف قارب الصياد فينبهها الى تجنبه وعدم الاصطدام به . كما انه اصبح في امكان المراكب صغيرها وكبيرها أن تحدد اماكنها بالضبط طالما انها داخل مدى محطات الرادار الساحلية .

وفي الاحوال الجوية المضطربة ، حين يستحيل الاستعانة بالشمس أو النجوم لمعونة الملاحة ، فان ربان السفينة بارساله اشارة لاسلكية بسيطة سوف يستطيع ان يحدد مكانه بدقة كافية اذ ترسل له محطات الرادار الساحلية كل المعلومات التي يحتاج اليها . وقد اجرى كثير من العلماء تجاربهم للاتصال بالقمر بواسطة الرادار كي يعرفوا بعده بالضبط عن الارض وتكللت هذه التجارب بنجاح مبدئي يبشر بنتائج ناجحة في المستقبل القريب ، ووجد ان القمر يرد الدفعات اللاسلكية على شكل

اصداء واضحة جداً طالما كانت طرق الارسال سليمة وقوية . ومتوسط بعد القمر عن الارض هو ٢٤٠ الف ميل ويستغرق الصدى حوالي ٢/١ ٢ ثانية كي يعود منه . وان نجاح هذه التجارب قد يمهد السبيل في المستقبل القريب للاتصال بكواكب اخرى ابعد من القمر . والكواكب القريبة من الارض مثل عطارد والمريخ والزهرة تعكس الدفعات اللاسلكية في فترات زمنية قصيرة جداً في حين ان رحلة الموجات اللاسلكية الى ابعد الكواكب ثم العودة منها ثانية لا تأخذ اكثر من خمس ساعات لو تيسر ارسالها بالقوة اللازمة . ولكن مهما تقدم الرادار ومهما تطورت اساليب استخدامه فلست اظن انه سيصبح في الامكان الاتصال بالنجوم بطرق كالطرق السابقة ، فان الدفعات التي قد ترسل الى النجوم لن تعود من اقربها الينا في أقل من ثمانية اعوام في حين تحتاج الرحلات اللاسلكية الى النجوم الاخرى ثم العودة منها الى مئات بل آلاف السنين . (انظر الملحق الأول لهذا الفصل) .

وفي امكاننا ان نعتبر الرادار اعظم نتيجة علمية تمخضت عنها حرب من الحروب . وقد تكون القنبلة الذرية اعظم من الرادار من وجهة النظر الفنية المحضة ، ولكن بدونها كان من المستطاع كسب الحرب ولو انها كانت تطول قليلا مما يتطلب تضحيات مادية وبشرية اعظم ، في حين انه بدون الرادار ما كانت الحرب كسبت : فهو الجهاز الذي ابعد عن بريطانيا خطر الفناء الذي هددها عام ١٩٤٠ وهو الذي مكنها من الوقوف بمفردها في وجه عدو ضخم جبار كالالمان .

وان تاريخ الرادار وقصته وقت الحرب ليعتبران من الاساطير الخيالية ذات الطابع المجيد ولكن تاريخه في السلم لم يتم بعد ولا شك في انه سيكون اعظم بكثير من تاريخه في الحرب . وان جيشنا الذي زُود به اخيراً ليعتبر في نظري ونظر الخبراء أكفأ وحدة تستطيع ان تحسن استخدامه ولا نزاع في ان علماءنا سوف يولونه من اهتمامهم الجزء الاكبر فتبرز مصر بين الدول العظمى في التقدم بهذا الاختراع الى مرتبة الكمال .

ملحوظة : من المقول ان الحرب القادمة ستكون حرباً صاروخية تستخدم فيها القذائف المقودة Guided Missles التي يوجهها الرادار والتي تنطلق بفعل الدفع الصاروخي ، كما يُظن ان تجارب كثيرة تجري الآن لتيسير استخدام الدفع الصاروخي في الحياة المدنية ، ولقد فضلت ان اشير الى هذا الموضوع بكلمات قلائل في نهاية هذا الفصل الذي تكلمنا فيه عن ميزة الحرب كحقبة من التاريخ تظهر فيها اعظم الاختراعات العامية .

والصواريخ لا يجدي معها الرادار الحالي ولذلك فالعلماء يجهدون انفسهم الآن في ايجاد مخرج من هذه المشكلة ولا اظن انهم سيجدون بغيتهم إلا في الرادار بعد ان تُدخل عليه تعديلات جديدة .

الملحق الأول

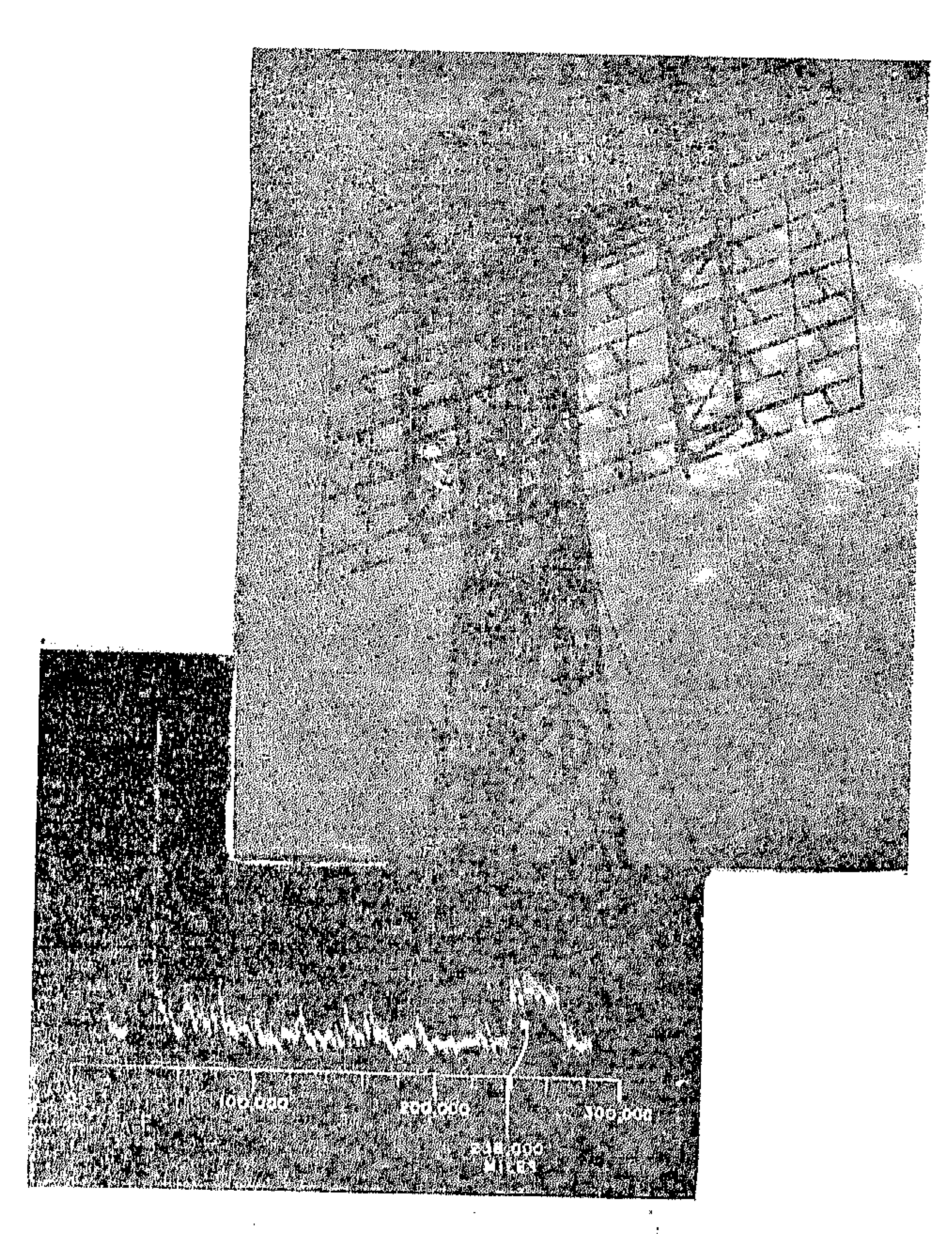
للفصل الرابع عشر

الاتصال بالقمر بواسطة الرادار

منذ أن اختُرع الرادار والكثيرون يقترحون محاولة الحصول على أصداء من القمر بواسطته إلا أن اقتراحاتهم لم تؤخذ على محمل جدّي حتى اعلن سير ادوارد أبلتون بصفة قاطعة ، في احدى محاضراته التي كان يلقيها في مؤسسة المهندسين الكهربائيين بانجلترا ، امكان الاتصال بالقمر بواسطة الرادار . ولم تمض سنة على هذا الاعلان حتى كان سلاح الاشارة بالجيش الامريكي قد قام بالاتصال بالقمر بارسال دفعات لاسلكية من الرادار واستقبال اصداء هذه الدفعات ، ويدلنا هذا على مدى السرعة التي يتقدم بها البحث العلمي في عصرنا هذا .

وان العقبات التي اعترضت القيام بهذه التجربة التاريخية والتي تم التغلب عليها لمما يلذ للقارىء الاطلاع عليه . وبالرغم من ان تقريراً مفصلا عن هذه التجربة لم ينشر حتى الآن الا انه امكن الحصول على كثير من التفاصيل الفنية المفيدة : فلقد استخدم في الاتصال بالقمر جهاز رادار عادي للانذار المبكر يعمل بتردد قدره ١١١٫٦ ميجاسيكل في الثانية ، ولما كان من الضروري استخدام نوع خاص من الهوائيات فلقد صنعت منظمة خاصة مكونة من ٦٤ هوائياً من هوائيات نصف الموجة ركبت في المنظمة

٨×٨ . وتظهر في الشكل الآتي صورة لهذه المنظمة كما يظهر ايضاً «الأثر» في انبوبة شعاع المهبط وعليه الكسرة التي سببها الصدى المرتد من القمر على مسافة ٢٣٨ الف ميل تقريباً .



ولم يكن من المستطاع تحريك هذا الهوائي في المستوى الرأسي نظراً لضخامته ولهذا اجريت التجربة والقمر في الأفق تماماً . ورغماً عن ثبوت احتمال اضمحلال الدفعات الى اقصى حد في المنطقة المتأينة Ionospheric Attenuation فان التجربة نجحت تماماً .

ولما كانت الاصداء التي تنعكس من ابعد الاغراض الارضية (تعتبر الطائرات اغراضاً ارضية) تعود الى مستقبل الرادار بعد مضي بضعة اجزاء قليلة على الف من الثانية على اكثر تقدير من خروج الدفعة المرسلة فانه في الامكان استخدام معدل تكرار عالٍ جداً وبذلك يبدو الاثر مستمراً على شاشة انبوبة شعاع المهبط مما يساعد على تمييز الصدى المرتد من بين العشب او الصوت الذي يكون منتشراً على طول الاثر حتى ولو كانت نسبة شدة الاشارة الى شدة الصوت Signal to Noise Ratio منخفضة جداً (١ : ١ مثلا) . وان استخدام انابيب شعاع المهبط ذات التوهج الطويل المدى لما يساعد ايضاً على هذا التمييز نظراً لخاصية التكامل او التوضيح التي لمثل هذه الانابيب .

اما في حالة استقبال اصداء منعكسة من القمر فان التجهيز يُعمل كى تقطع البقعة المضيئة شاشة انبوبة شعاع المهبط في حوالي ٢/١ ٢ ثانية فتكون النتيجة ان الاثر لا يبدو مستمراً ، وهذا العيب يتطلب ان تكون نسبة الاشارة الى الصوت عالية جداً حتى يمكن الحصول على نتائج معقولة . ومن النظريات المعروفة جداً ان الصوت او الهمهمة التي تتولد في اول مرحلة من مراحل الاستقبال في جهاز الراديو العادي تتناسب مع الجذر التربيعي لسعة حزمة الموجات (في العادة يولف المستقبل كي يستقبل مجموعة من الترددات وليس تردد محطة الارسال فقط، وتسمى هذه المجموعة حزمة الموجات، وهى قد تكون ضيقة او واسعة تبعاً للتصميم) ، ولما كانت دفعات الرادار لا تستمر اكثر من ميكروثانية او حتى اقل من ذلك ضماناً

للتقدير الصحيح لمسافات الاهداف فان سعة الحزمة في مستقبل الرادار تبلغ بضعة ميجاسيكل حتى يتسنى استقبال الاصداء المرتدة دون ان تفقد الكثير من قوتها او تشوه . ولكن في تجربة الاتصال بالقمر لم يكن لدقة قياس المسافة اعتبار كبير ولذلك خفضت سعة الحزمة الى ٥٠ دورة فقط ، وهو رقم متواضع جداً ، وكان الغرض من هذا التخفيض هو تحسين نسبة الاشارة الى الصوت ورفعها الى حوالي ٣٠٠ : ١ ، غير ان هذا التخفيض سبب صعوبات كثيرة نشأت من عدم استقرار المرسل والمستقبل استقراراً كهربائياً . كما ان تأثير دوران الارض Doppler Effect يغير تردد الدفعة بأكثر من خمسين دورة ومعنى ذلك انها اذ تصل الى المستقبل كصدى تكون خارج مدى سعة حزمة الموجات ، ولهذا السبب كان من الضروري عمل الكثير من التجهيزات والحسابات للتعويض عن هذه الكمية الدائمة التغير .

اما معدل التكرار فكان حوالي ١٢ دفعة في الدقيقة وكانت الدفعة الواحدة تستمر من ٢ر٠ الى ٥ر٠ من الثانية ، اي ان المرسل كان يعمل ثانية واحدة كل عشر ثوان بينما يعمل المرسل في الرادار العادي ثانية واحدة كل الف ثانية . وكان اتساع الدفعة وانخفاض معدل التكرار سبباً في انخفاض قوة الدفعة الى حد اقل بكثير مما كان منتظراً فلم يمكن اشعاع الا من ٣ الى ٥ كيلو وات كأقصى قوة ، وهذا رقم غريب في هذه الايام التي تستخدم فيها صمامات الميجاوات .

واجريت تجربة الاتصال بالقمر تحت اشراف الكولونيل ويت

J. H. De Witt من سلاح الاشارة الامريكي في معامل إيفانز بيلمار Belmar بامريكا . وقد تم اول اتصال في الساعة الحادية عشرة والدقيقة ٥٨ مساء يوم ١٠ يناير سنة ١٩٤٦ بعد شروق القمر بعشر دقائق إلا انه جاء في بعض التقارير ان اصداء ارتدت منه قبل شروقه مباشرة وعلل ذلك بالانكسار، الذي يكون كافياً اذا كان التردد مقارباً للتردد الضوئي ، كي يجعل القمر « منظوراً » بالنسبة للرادار حتى ولو كان منخفضاً عن الأفق . ولما كانت هذه التجربة قد تمت باستخدام احد اجهزة الرادار العادية فانه لمن المؤكد امكان الحصول على نتائج ابدع لو أن اجهزة خاصة استخدمت . والخطوة الاولى المنطقية لانتاج مثل هذه الاجهزة هي استخدام موجات سنتيمترية واشعاعها من هوائيات القطع المكافيء حتى يمكن تركيز القوة المرسلة بأكملها على القمر. ولما كانت الزاوية المقابلة لقطر القمر تبلغ حوالي نصف درجة فان ١ ٪ فقط من القوة التي ارسلت من منظمة الهوائيات التي استخدمت في تجربة بلمار هي التي وصلت الهدف نظراً لأن عرض المنظمة كان حوالي ٨ درجات . اما اذا استخدمت دفعات ذات موجات طولها ١٠ سم . او اقل تشع من هوائي قطع مكافيء صغير الحجم فانه يصبح في الامكان تركيز كل القوة الصادرة على القمر ومضاعفة قوة الدفعة عشر مرات على اقل تقدير . كما ان عيوب معدل التكرار المنخفض التي ذكرت يمكن التغلب عليها لو ان الاصداء صورت فوتوغرافياً بطريقة خاصة كي تبدو مستمرة Photographic Integration حتى ولو كانت هناك فواصل زمنية كبيرة بين كل دفعة والاخرى . ولما كان من الميسور الآن الحصول

على ماجنترون يولد موجات سنتيمترية قوة القمة فيها ٢ ميجاوات فلقد اصبح من السهل الاتصال بالاهداف البعيدة جداً (الكواكب مثلا) . كما أنه يمكن ، بجعل الفواصل بين كل دفعة والاخرى دقيقة او اكثر ، ان يعمل الماجنترون منتجاً قوة اضخم من القوة العادية التي ينتجها في العادة . وعلى اي الحالات لا بد من اتباع طريقة الدفعات الفردية اذا أريد الاتصال بالكواكب لمعرفة مسافاتها، وتتضح هذه الحقيقة جداً لو استوعبنا المعلومات الواردة في الجدول الآتي :

«جدول يبين الحد الادنى للزمن اللازم لرحلة الدفعات الى الكواكب ومنها»

الكوكب	الزمن	الكوكب	الزمن
القمر	٢و٥٦ ثانية	الشمس	١٦و٦ دقيقة
الزهرة	٤و٥٠ دقيقة	المشتري	١و١٠ ساعة
المريخ	٦و٢٠ »	الكواكب الخارجية	من ساعتين
عطارد	٨و٨٠ »	البعيدة	الى ١٠ ساعات

وباستخدام الرادار في هذا المجال يمكن الوصول الى نتائج علمية لا تقدر قيمتها : فحتى الآن كان المقياس الاساسي في علم الفلك هو المسافة بين الارض والشمس ، وسبق ان عرفنا كيف امكن الوصول الى معرفة هذه المسافة بالمراقبة الدقيقة من نقط مختلفة منتشرة في معظم ارجاء الارض ، ولقد احتاج الامر الى شهور لتحليل النتائج وتقدير هذه المسافة. ولكن باستخدام الرادار لن يكون من الضروري استقبال اصداء من الشمس ذاتها لقياس بعدها عن الارض بل يمكن تقدير مسافات بعض

الكواكب الأقرب تقديراً دقيقاً بواسطة الرادار كي نحصل على القياس النسبي الذي نعمل عليه بعد ذلك لحساب مسافة الشمس وغيرها من الكواكب البعيدة بمنتهى الدقة وبدون ادنى صعوبة . فالزهرة تبعد عن الارض — حين تكون في اقرب وضع منها — ٢٥ مليون ميل ويقابل قطرها الظاهري زاوية قدرها دقيقة واحدة، وتستطيع العين المجردة ان تراها كقرص (بفرض ان وهج الشمس لايحجبها) . ومن المعروف ان قوة المرسل اللازمة لانتاج دفعة قوية ترتد كصدى من جسم كروي موجود في الفضاء تتناسب مع الكمية الآتية : $\frac{م^{٤} \times ل^{٢}}{ق^{٤} \times نق^{٢} \times ك}$ حيث م هي مسافة الجسم ، ل طول الموجة ، ق قطر منظمة الهوائيات ، نق نصف قطر الجسم الكروي ، ك معامل الانعكاس . فاذا نحن عوضنا في هذه الكمية عن الرموز بالارقام التي استخدمت في تجربة بلمار (م = ٢٥٠٠٠٠ ، نق = ١٠٠٠ ميل) وفرضنا ان ق ، ك لم يتغيرا عما كانا عليه في التجربة ولكن طول الموجة تغير فأصبح ١٠ سم . ، لأمكننا تقدير القوة اللازمة للاتصال بالكواكب الاخرى : فاذا أردنا معرفة قيمة اقصى قوة مطلوبة للاتصال بالزهرة فاننا نعوض عن م = ٢٥ مليون ميل ، نق = ٤٠٠٠ ميل ونصل الى ان اقصى قوة مطلوبة (قوة القمة) تعادل ٧٠٠٠ مرة تقريباً القوة التي انتجت في تجربة بلمار أي حوالي ٣٥ ميجاوات . وقد يبدو هذا الرقم ضخما يحتاج الى تخفيض ولكن المثال التالي قد يقنعنا بأنه لا بأس به البتة وانه لا غرابة في التناقض الغريب بين هذه الارقام :

ان بعد الشمس عن الارض اكبر من بعد القمر عنها حوالي ٤٠٠ مرة

كما ان نصف قطرها يساوي نصف قطر القمر ٤٠٠ مرة كذلك ، وهذه المصادفة العجيبة في تساوي الرقمين (٤٠٠ ، ٤٠٠) هي التي تجعل الخسوف الكلي ممكناً . وللاتصال بالشمس بواسطة الرادار بدفعات ذات موجات طولها ١٠ سم. نحتاج الى قوة تعادل القوة التي انتجت في بلمار ١٨٠ مرة فقط ، اي ٩ر٠ ميجاوات وهى اقل بكثير جداً كما ترون من القوة اللازمة للاتصال بالزهرة التي تبعد عن الارض مسافة تساوي ١/٤ بعد الشمس عنها .

ومن الميسور حالياً انتاج قوة قدرها ٩ر٠ ميجاوات اما ٣٥ ميجاوات فلا اظن ان هناك امل في انتاجها إلا بعد مضي وقت طويل ، ولكن لاشك في انها ستُنتج نظراً لأن التطورات العلمية التي حدثت في السنين الاخيرة تجعلنا نؤمن بأن كل شيء اصبح مستطاعاً . وهناك طريقتان لتحسين الموقف يمكن استنتاجهما من المعادلة السابقة : اولهما ان نكعب حجم المنظمة فتنخفض القوة اللازمة الى ١/٢ ميجاوات فقط او اقل، كما انه باستخدام هوائى قطع مكافىء يمكن استقبال اصداء من المريخ اذا امكن انتاج قوة قدرها ٢٥ ميجاوات .

اما الطريقة الثانية فتكون بتخفيض طول الموجة ، ومن المظنون انه في الامكان انتاج نفس القوة التي للموجات ذات العشرة سنتيمترات طولا لو زيد التردد عن ٣٠٠٠ ميجاسيكل ، والمسألة مسألة وقت ليس الا . وهناك آراء لم تنضج بعد تقول باختيار موجات ذات اطوال تتناسب مع التردد الضوئي للاتصال القمري وغيره . ولقد تطورت انابيب التفريغ الغازية خلال الحرب الاخيرة وتوصل العلماء الى انتاج دفعات ضوئية

بواسطتها ، وهذه الدفعات شديدة لدرجة ان الطيار يستطيع بإرسالها من جهاز في طائرته الحصول على صور فوتوغرافية ليلية للاغراض الارضية . ويمكن بتفريغ المكثفات خلال مثل هذه الانابيب انتاج رادار صناعي من نوع جديد عالي الكفاءة Pseudo - Radar تكون دائرة الكشف فيه عبارة عن انبوبة خاصة للتكبير Photo - multiplier cell متصلة بدائرة تنقية لا تسمح الا بمرور الضوء الذي يكون لوميضه لون واحد Monochromatic flash وبتعبير آخر تردد واحد من مجموعة ترددات الطيف الضوئي ، وهي حالة مشابهة جداً لاستخدام مستقبل رادار عادي تكون سعة الحزمة التي يستقبلها ضيقة جداً . واذا راعينا ان مكثفا فرق الجهد بين لوحيه ١٠٠٠ فولت يفرغ شحنته خلال انبوبة تفريغ بمعدل ١٠٠ امبير (اي ان القوة تكون ١٠٠ كيلووات) لتأكد لدينا ان الطريق معبد جداً للوصول الى ما نريد وأكثر . ولقد تم صنع هذا «الرادار الضوئي Optical radar » الآن وهو يتكون من هوائيين من هوائيات القطع المكافىء في بؤرة أحداهما شرارة ذات جهد عال جداً بينما يحمل الآخر « صماماً » يعمل بموجات الضوء ، ولست اجد ترجمة عربية تناسب عمله ، ويسمى Photo-electric cell . والأصداء اذ ترتد من الاهداف تظهر على شاشة انبوبة شعاع المهبط كما يحدث في الرادار العادي ، الا ان التفصيلات الخاصة بهذا الجهاز لم تنشر بعد وها نحن في انتظارها . (نظرية الا Photo-electric cell معروفة جيداً ويمكن الرجوع الى اي كتاب حديث من كتب الراديو لمعرفة هذه النظرية وهي اساساً مبنية على التأثير

الفوتوالكتروني وهو ان الاشعة فوق البنفسجية اذ تسقط على انواع خاصة من المعادن تسبب انبعاث الالكترونات منها) .

ولم يمكن تحديد اقصى مسافة او اقصى درجة دقة للرادار الفلكي الا أن المعروف هو انه بزيادة سعة الحزمة الى بضع مئات من الدورات تكون الدقة في قياس المسافة في حدود ١٠٠٠ ميل اي بخطأ قدره ٠٫٠٠١ ٪ من نصف قطر مسار الارض . ولقد اقترح سير ادوارد ابلتون استخدام الرادار في قياس ارتفاعات الجبال القمرية ، وهذه العملية تحتاج الى ان تكون سعة الموجة حوالي ١ ميجاسيكل وان يكون الاثر ممتداً ومستمراً كذلك الموجود في مستقبل الرادار الخاص بسلاح المدفعية . وقد يصبح في الامكان كذلك ، لو احسن اختيار التردد ، ان نعرف ما اذا كانت هناك منطقة متأينة فى القمر من عدمه علماً بأن تردد الدفعات التي ترسل حالياً لاختراق طبقتي E , F كاف ولا شك للوصول الى القمر لتأدية ذلك العمل .

وفي اغسطس من هذه السنة كُشف الغطاء عن حقيقة عجيبة ولا شك ، الا وهى ان احدى المؤسسات العلمية الكبيرة فى امريكا تحاول جديا استخدام القمر كعاكس للموجات القصيرة بدلاً من المنطقة المتأينة وذلك فى حالة حدوث خلل فى خطوط مواصلات الموجات القصيرة اللاسلكية بسبب رداءة الاحوال الجوية . ولقد قام هنري بوزجنيز Henri Busignies المدير الفني لهذه المؤسسة بعمليات حسابية كثيرة انتهى منها الى ان القوة المطلوبة لنجاح هذه العملية تكون ١٠٠ كيلووات لو ان سعة الحزمة كانت ٥٠٠ دورة على الاقل (للموجات المستمرة وليست الدفعات) ، وفي الامكان

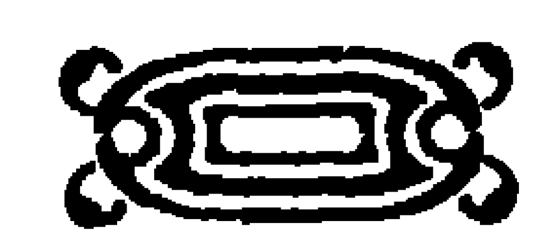
الحصول على مثل هـذه القوة الآن بتردد يقارب ٦٠٠ ميجاسيكل من صمامات خاصة Resnatrons . ولكن لهذه العملية عيوباً اهمها ان القمر يجب ان يكون «مرئياً» من محطة الارسال ومن المستقبل فى وقت واحد، غير ان هـذه العيوب لا تقضي على الفكرة مطلقاً والمستقبل كفيل بتحقيقها على احسن وجه. كما انه قد يمكن، اذا توفرت انواع خاصة من الوقود والمحركات ، تحقيق الاقتراح الذي نادى به زوركن Dr. V. K. Zworykin (وهو أحد العلماء الامريكيين الأفذاذ رغم صغر سنه وأحد كبار المساهمين في اختراع «المجهر الالكتروني» الذي أنا في سبيل تبسيطه في كتاب صغير) منذ زمن وهو يقضي بارسال صواريخ تحمل آلات تسجيل فوتوغرافية لاسلكية الى القمر . ومن ناحية المواصلات اللاسلكية ليست هناك صعوبات عملية تعترض تنفيذ مثل هذا الاقتراح ولكن ربما تطرأ صعوبات اخرى ليست فى الحسبان حتى الآن .

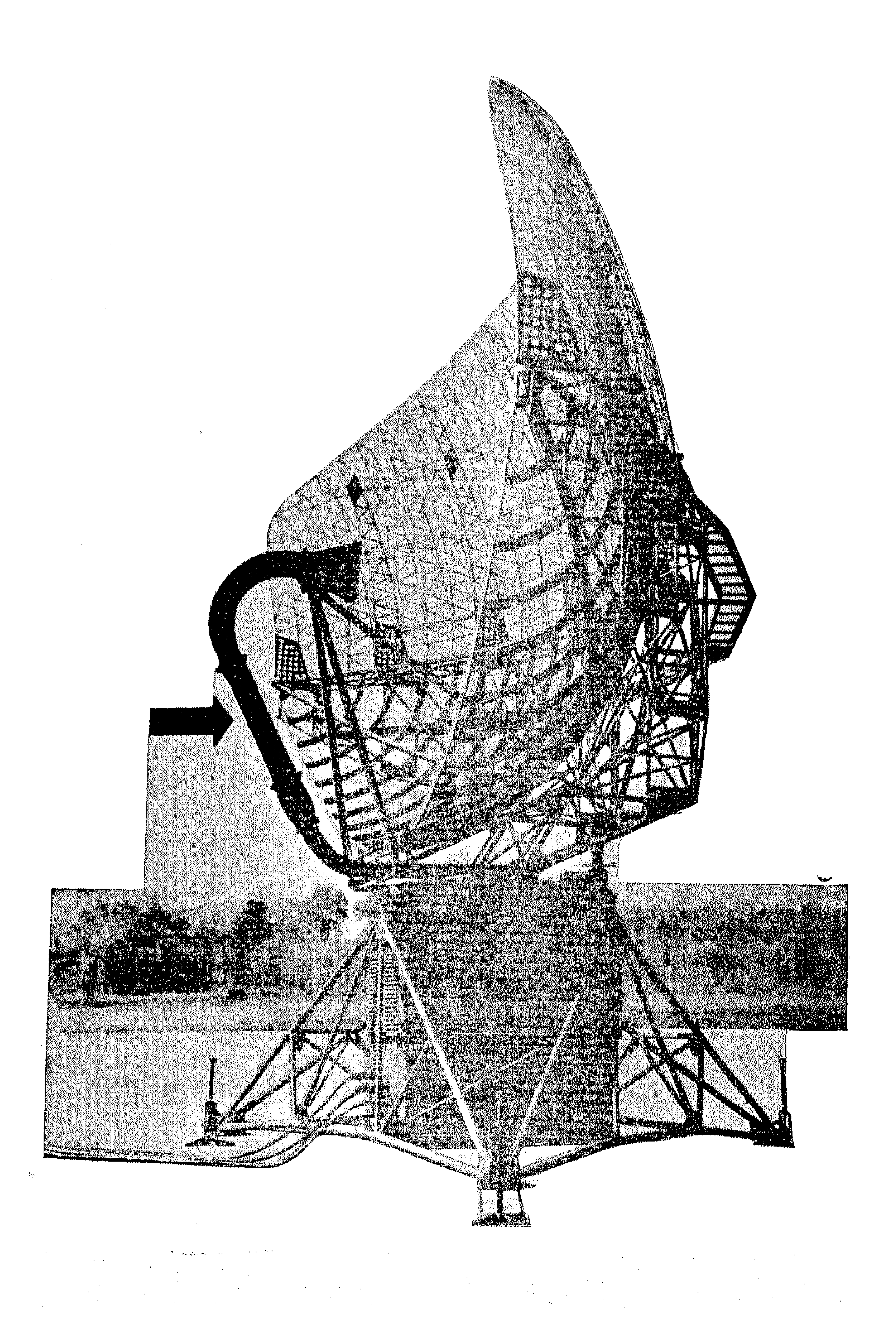
اما اولئك الافراد الذين كانوا يؤملون بأن يروا اليوم الذي يخترع فيه الرادار مكتشف الشهب أو النجوم الصغيرة الساقطة Radar meteor-detector فلا اظن ان الامل كبير في تحقيق ما يتمونه نظراً لان حجم الشهاب الساقط يكون فى المتوسط اصغر بكثير من حجم طلقة البندقية العادية بينما يسري بسرعة تفوق سرعة هذه الطلقة خمسين مرة على الاقل ، ومن الصعوبة بمكان اكتشاف مثل هذا الجسم الصغير فما بالك بتحديد ما اذا كان متخذاً خط سير يقوده الى الاصطدام بالارض من عدمه . واذا امكن هذا التحديد فلن يكون الا قبل حدوث الاصطدام بكسرة زمنية متناهية فى الضآلة

لاتكفى لتجنب نتائج الاصطدام ، الا انه لحسن الحظ يندر سقوط شهب كبيرة قد يسبب اصطدامها بالارض خسائر فادحة .

ومن المؤكد ان عصراً جديداً قد بدا الآن يتعاون فيه الرادار مع رجال الفلك وان هذا التعاون سوف ينتهى الى نتائج من اعجب ما يمكن واذا تذكرنا ان الرادار إن هو إلا وليد ابحاث عادية فى الراديو فاننا ولا بد ان نتوقع العجب فى السنين القادمة .

ملحوظة : تمكنت معامل « بل » للتلفون بامريكا من انتاج « عدسات معدنية » لارسال موجات سنتيمترية في شعاع لا يتجاوز عرضه ١/١٠ درجة وهذه العدسات تتركب من منظمات من شرائط معدنية امامها شبه بوق معدني يصب فيها الموجات الناتجة من المرسل لاشعاعها ، ويسمى هذا البوق « دليل او مرشد الموجة » . وهذا الاختراع يعني تحقيق فكرة تخفيض حجم الهوائي في الرادار الفلكى لتسهيل الاتصال على مسافات طويلة جداً دون الحاجة الى انتاج قوى ضخمة لا يتيسر انتاجها . (انظر الرسم الذي على الصفحة المقابلة ، والسهم يشير الى « مرشد الموجة ») .





الملحق الثاني

للفصل الرابع عشر

استخدام الرادار في اكتشاف العواصف والزوابع الرعدية

منذ ثمانية عشر عاماً والعلماء يحاولون استخدام اجهزة ايجاد الاتجاه للاسلكية في اكتشاف مواطن الزوابع والعواصف ، وها هو الرادار يحقق المعجزة الآن . ومهما قيل عن أعجوبة إخضاع القوة الذرية وعن عجائب الرادار في كل الميادين فان كله ليتضاءل بجانب النتائج المدهشة التي سأروي تفاصيلها في السطور التالية :

ففي يوم ١٥ سبتمبر هبت عاصفة عاتية على شبه جزيرة فلوريدا بامريكا وكان تأثيرها أقوى مئات المرات من تأثير أقوى الزلازل. وفي مدينة اورلوفستا جنوبي شبه الجزيرة كان يوجد كوخ بسيط بداخله جماعة من علماء الابحاث الجوية يحيطون بأحد اجهزة رادار القوة الجوية التابعة للجيش الامريكي ، وكان هذا الرادار خاص باكتشاف العواصف والزوابع . وبالرغم من ان العاصفة الجبارة التي بلغت سرعة ريحها ٩٩ ميلاً في الساعة كانت تصب جام غضبها على منطقة تقع جنوبي الكوخ بحوالى ١٧٢ ميلا اي شمال غربي ميامي بحوالى ٣٠ ميلا ، إلا انها كانت تهدد باكتساح الكوخ القيّم وما يجاوره بمنتهى العتو . وكان جهاز الرادار يتركب من هوائي عرضه ٣٠ قدماً مثبتاً في برج قريب جداً من الرادار نفسه الذي كان عبارة عن

جهازين الكترونيين احدهما يعمل كجهاز لقياس الارتفاع، وعلى شاشة دليل الموقع فيه يتذبذب خط ضوئي غير ثابت من أعلا الشاشة الى اسفلها ذهاباً واياباً. اما الجهاز الثاني فانه يعمل بموجات سنتيمترية وعلى شاشة دليل الموقع فيه تظهر العواصف المقتربة من مدى اقصاه ٢٢٠ ميلا.

اصبح الصباح على سكان فلوريدا يوم ١٥ سبتمبر فاذا هم يرتجفون وقد اذهلتهم شدة البرودة وعتو الرياح كما امتلأت منازلهم باكوام الرمال وارواحهم باليأس بينما كانت المباني تقتلع من اساسلها كأوراق خفيفة. اما في اورلوفستا حيث جهاز الرادار فان الجو كان معتدلا نسبياً إلا ان روح ذعر وقلق كانت تسيطر على الموجودين. وسرعان ما سجل جهاز الرادار السنتيمتري



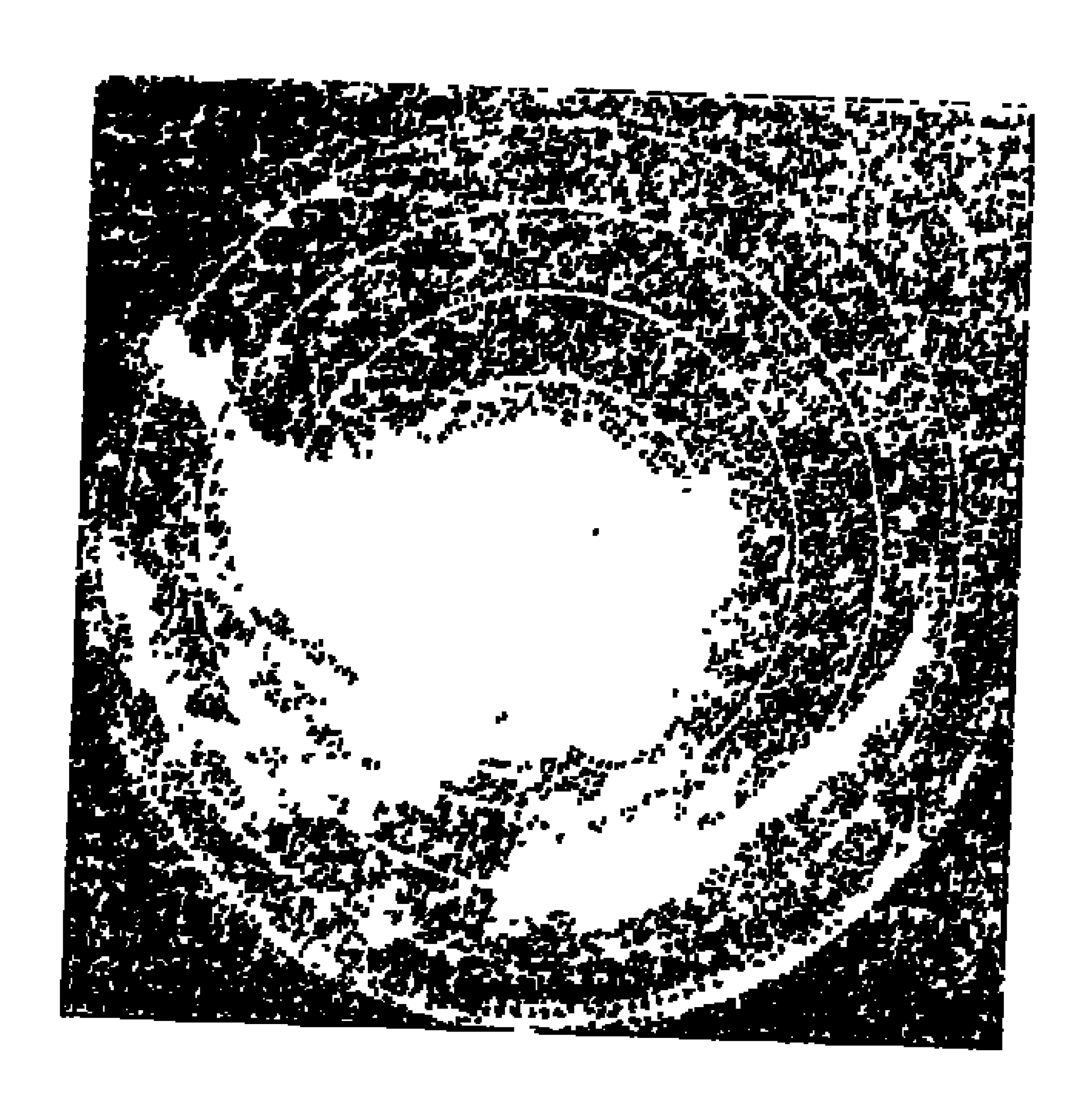
« في الساعة الثانية والدقيقة العشرين من صباح يوم ١٦ سبتمبر استقبل جهاز الرادار الموضوع في اورلوفستا اصداء مرتدة من سحب الامطار الكثيفة المصاحبة لعاصفة جبارة تجتاح شبه الجزيرة. وتظهر الزوبعة في هذا الرسم كما تبدو على شاشة دليل الموقع كرقم 6 اثناء اقترابها من اورلوفستا التي تبدو كبقعة بيضاء أعلا الشاشة ».

اصداء مرتدة من جنوبي فلوريدا تدل على ان العاصفة تقترب جنوباً في شبه الجزيرة. وفي الساعة التاسعة والدقيقة الخمسين ظهرت اصداء مرتدة من قلب العاصفة على بعد ٣٠ ميلا جنوبي غربي ميامي، وفي الحال ركبت آلات تصوير فوتوغرافية خاصة لتصوير شاشتي الرادار اوتوماتيكياً كل ١٥

ثانية . وبتتبع قلب العاصفة وُجد انه يقترب بسرعة تسعة اميال في الساعة متخذاً مساراً منحنياً يقود العاصفة الى الكوخ في اورلوفستا ، وكان شكل العاصفة على شاشة الجهاز السنتيمتري واضحاً لا يحتمل الخطأ نظراً لأن الاصداء كانت قوية جداً : كان هذا الشكل يشبه رقم 6 وقد اتصلت به ذيول ملتوية بشكل حلزوني . وفي الساعة الواحدة من صباح يوم ١٦ امكن تمييز ستة من هذه الذيول على شاشة الجهاز منها ثلاثة منفصلة ومتجهة شمالا متقدمة عن قلب العاصفة ، ومن المظنون ان هذه الذيول كانت تمثل السحب الحاملة للامطار وكان عرضها حوالى عشرة اميال ويبعد كل منها عن الآخر خمسة اميال . ولما ازدادت العاصفة اقترابا من اورلوفستا واصبحت على بعد ستة اميال من اورلاندو تغيرت الحالة الجوية تماماً واشتد هبوب الرياح التي وصلت سرعتها الى ٧٠ ميلا في الساعة وكانت مصحوبة بأمطار شديدة . وفي هذا الوقت اشتد خوف عمّال الرادار على الهوائي خشية ألا يستطيع مقاومة الرياح الشديدة فتكتسحه ، ولذلك وضع جهاز لقياس سرعة الريح Anemometer بجوار الهوائي حتى اذا ما سقط البرج الحامل للهوائي أمكن معرفة اقصى سرعة للريح التي يستطيع الهوائى ان يتحملها. وفي الساعة الثالثة والدقيقة الخامسة والاربعين كانت «عين» العاصفة مركزة على محطة اكتشاف العواصف وذلك لأن العاصفة اتخذت مساراً منحنياً واحاطت بالكوخ على بعد عشرة اميال تقريباً لجهة الغرب ، وكان اتساع منطقة الضغط المنخفض في مركز هذه العين ١٢ ميلا ، ثم انقطع وصول اصداء الى الرادار مما دل على انقطاع هطول الامطار في منطقة

اورلوفستا . اما الجهاز الآخر الخاص بقياس الارتفاع فقد دل على ان السحابة الكثيفة المحيطة بعين العاصفة تمتد الى ارتفاع يبلغ ١٨٠٠٠ قدماً. ولما كانت العاصفة قد مرت على مساحات كبيرة من الارض فان حدتها انخفضت وسجل الرادار السنتيمتري انها متجهة الى جاكسنفيل .

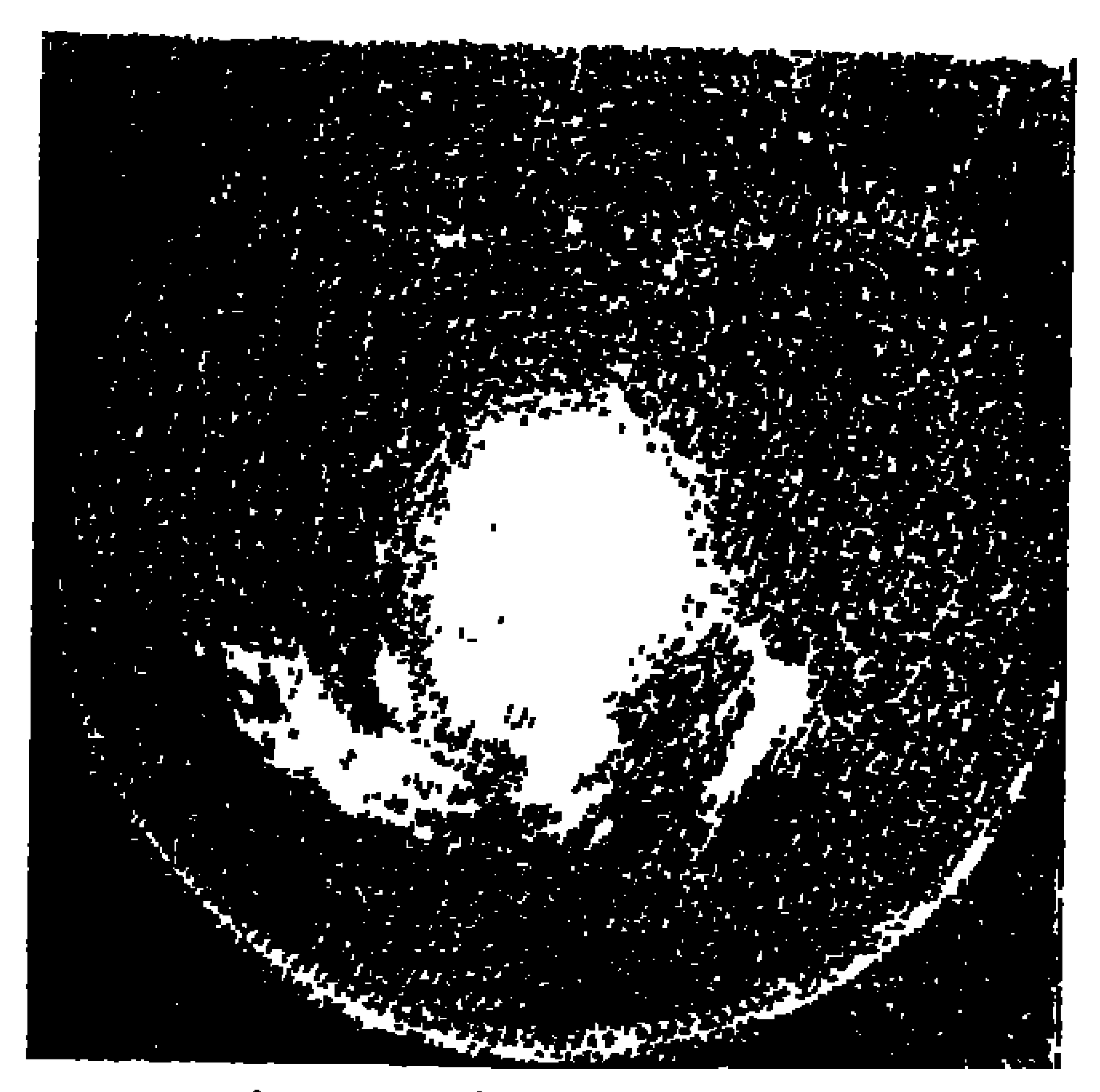
وأجهزة الرادار الخاصة باكتشاف العواصف مداها ٢٠٠ ميل ويمكن الاستدلال منها على سرعة العواصف واتجاه سيرها حتى



صورة اخذت الساعة ٣ والدقيقة ٣٠ مساء يوم ١٦ وهي تبين قلب العاصفة كما ظهر على شاشة دليل الموقع بجهاز الرادار ، وكانت العاصفة في ذلك الوقت على بعد عشرة اميال من اورلوفستا . اما البقعة البيضاء التي في الوسط فسببها ارتداد الاصداء من السحب المحيطة بعين العاصفة على ارتفاع ١٧ الف قدم .

يتسنى اخطار المطارات لمنع الطائرات من الصعود او الهبوط في الاحوال الجوية السيئة وكذلك لاتخاذ الاجراءات اللازمة لحماية الطائرات التي

تكون جاثمة في ارض المطار ، ولقد كان لهذا النوع من الرادار اعظم الفضل في منع وقوع حوادث جسيمة .



صورة تبين قلب العاصفة كما ظهر على شاشة دليل الموقع بجهاز الرادار وهو يبدو ضعيفا اذ ان الصورة اخذت الساعة ٦ مساء يوم ١٦ بعد ان جاوزت العاصفة أورلونستا بحوالى ٤٠ ميلا .

اذن فالرادار يتعاون الآن مع رجال الابحاث الجوية كما تعاون من قبل مع الفلكيين ولا ندري مع من سيتعاون في المستقبل .

ملحوظة : يستخدم الرادار الآن ايضاً في مكافحة الجراد وذلك بارسال دفعات قوية اذ تصطدم بأسراب الجراد ترتد كاصداء لا بأس بها وتظهر على شاشة دليل الموقع محددة اتجاه ومسافة وطريق اقتراب الاسراب المقتربة من مدى ٢٠٠ ميل تقريباً فتتخذ الاجراءات في الحال لابادتها . ولا يحتاج الامر الى استخدام اجهزة خاصة بل ان جهاز الانذار المبكر كفء جداً لتأدية هذه العملية بمنتهى النجاح .

الفصل الخامس عشر

الرادار في الطبيعة

استخدام نظام الدفعات بالتردد فوق الصوتي

قد تستهوى بعض القراء فكرة عمل نموذج منزلي للرادار ، ولكن اين لهم بالقوة الكهربائية اللازمة لتشغيله ، بل وكيف يمكنهم التغلب على الصعوبات الفنية الاخرى ؟ في امكان هؤلاء الهواة ان يستخدموا التردد فوق الصوتي لانتاج مثل هذا النموذج المنزلي بنجاح تام ، وما الغرض من هذا الفصل الا تقديم وصف عام لنظام سمعي Acoustic System مشابه للرادار الحقيقي في النظرية العامة الى حد كبير .

سبق ان جاء في الفصل الثاني عشر ان الطبيعة مورد سخي لأصول يحاول العلماء تقليدها صناعياً ، وفي هذه المرة سوف نحاول تقليد الخفاش ، ولكن ذلك لا يعني ان يصبح القراء من هواة الخفافيش فيخرجوا الى الشوارع لدراسة عاداتها أو يأتوا بها الى منازلهم لنفس الغرض . كلا فليس هذا هو ما اعنيه وإلا أثرت علي ثائرة من لا يرحمن من الجنس الذي يرهب الخفافيش . فللخفاش خاصية عجيبة وهي قدرته على الطيران بأقصى سرعته في الاماكن ذات الاضواء الخافتة جداً ، بل انه يستطيع الطيران في الظلام الحالك وهو جد آمن . وهذا الطيش الظاهري الذي يبدو منه لم يؤد ابداً

لى اصطدامه بالعوائق والاجسام المختلفة التي تعترض طريقه وقد تؤذيه إن هو ارتطم بها ، وحتى اسلاك التلغراف الرفيعة لا يبدو انها تعوق طيرانه لسريع في الظلام الدامس . ولقد علل الاستاذ هارتريدج من جامعة لندن هذه الظاهرة عام ١٩٢٠ بأن افترض أن الخفافيش مزودة طبيعياً بنظام صوتى خاص Sonar System . واخيراً أمكن اثبات ان ما افترضه هارتريدج لا يعدو ان يكون الحقيقة وان الخفافيش مزودة فعلاً بتجهيز غاية في الدقة والاحكام تستطيع بواسطته ان تطير طيرانا أعمى . ولكن هذا الجهاز الطبيعي يكون عرضة للعطب لو ان الخفاش اصيب بنزلة بردية في رأسه – وهو مرض شائع الحدوث بين الحيوانات التي تعيش في الاسر – أو سُدّت أذناه فأصبح أصما . وتبعاً لنظرية هارتريدج يقال ان الخفاش ينتج اثناء طيرانه واحداً من اربعة انواع من الاصوات .

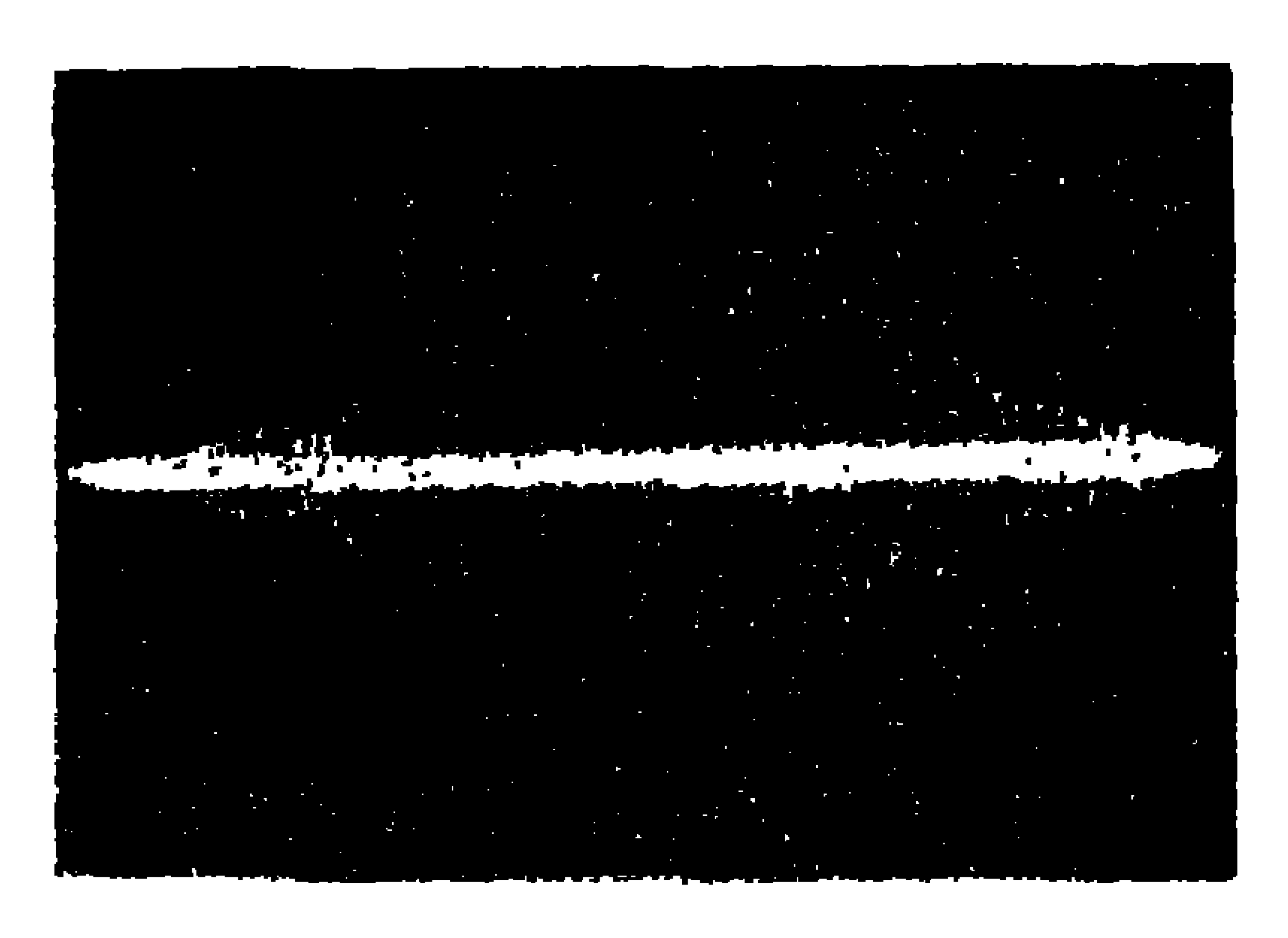
١ — ازيز Buzz تردده بين ١٢ ، ٦٠ دورة في الثانية .

٢ — صوت او نغمة تردده حوالي ٧٠٠٠ دورة في الثانية ويستمر لمدة ١/٤ ثانية تقريباً . ويحتمل ان يكون هذا الصوت هو واسطة التخاطب بين الخفافيش .

٣ — نغمة من النوع فوق الصوتي Supersonic Tone يتراوح ترددها بين ٤٠ ، ٥٠ كيلوسيكل في الثانية إلا ان هذا التردد قد ينخفض الى ٣٠ كيلوسيكل في بعض الاحيان أو يرتفع الى ٧٠ كيلوسيكل. وتستمر كل دفعة من هذا النوع حوالي $\frac{١}{١١٠٠٠}$ من الثانية ، ويتراوح معدل التكرار بين ٢٠ ، ٣٠ دفعة في الثانية ، ولكن

هذا المعدل يهبط الى مابين ٥ ، ١٠ دفعات في الثانية حين يكون الخفاش مستقراً ويرتفع الى ٦٠ دفعـة في الثانية اذا كان هناك عائق امام الخفاش مباشرة اثناء طيرانه . (اي ان الخفاش وهو ساكن يستخدم نظاماً للانذار المبكر لاكتشاف الأهداف التي تبعد عنه مسافات تتراوح بين ١٥، ٣٠ متراً فاذا طار اصبح في حاجة الى ما ينذره عن وجود الاغراض القريبـة ولذلك فهو نزيد معدل التكرار ليحصل على معلومات مستمرة كي يتمكن من تجنب العوائق القريبة).

٤ — تكتكة صوتية Click ويحتمل ان تصـدر على صورة دفعات منفردة من النوع فوق الصوتي .



صورة اخذت بواسطة الدكتور جريفين D. R. Griffin من جامعة هارفارد بامريكا لصرخة فوق صوتية أطلقها خفاش كما ظهرت على شاشة انبوبة شعاع المهبط . والحركة الافقية في الصورة هي من اليسار الى اليمين .

وهناك تضارب في الآراء حول الطريقةالتي يشع بها الصوت : فبينما

يصر الاستاذ هارتريدج على ان الصوت ينبعث من انف الخفاش ، يؤكد الدكتور جريفين ان الفم هو الذي يستعمل ، اما انا فلا اعتقد ابداً ان هناك ادنى فارق بين خفافيش لندن وخفافيش هارفارد في هذا المجال . ولكثير من الخفافيش خراطيم ذات شكل خاص مناسب جداً لتجميع النغمات فوق الصوتية التي تصدر من الخفاش في شعاع مركز وذلك لتقوية الدفعات المرسلة في اتجاه عائق خطر . ولما كان الخفاش يستخدم اذنيه في الاستقبال وايجاد الاتجاه ، فان تجميع الدفعة في شعاع (كأشعة الرادار التي تصدر من هوائيات القطع المكافىء) يساعد جداً على تخفيض شدة الصوت المباشر المرسل ، وبالتالي على منع الدفعات القوية الصادرة من حجب الاصداء الضعيفة المرتدة من العوائق . ومن المؤكد وجود نظام اضافي لارهاف حاسية السمع عند الخفاش اثناء خروج الدفعات المرسلة حتى لا تؤثر هذه في قدرته على استقبال الاصداء العائدة .

اما عن نظام الاستقبال فان له خواص اتجاهية هو الآخر : اذ تمتد ستارة غشائية رقيقة من جانب رأس الخفاش خلف الاذن اليمنى الى الجانب الآخر خلف الأذن اليسرى وذلك لمضاعفة حاسة السمع في الاتجاهات الامامية .

ومن الوصف الآتي لتصرفات خفاش يطير في اتجاه نافذة كبيرة مضاءة سوف تتحقق من ان النظام الصوتي الذي يستخدمه الخفاش يلائمه تمام الملاءمة ويؤدي ما هو مصمم من اجله على اكمل وجه : وجد بالتجربة والمشاهدة ان الخفاش اذ يقترب من نافذة مضاءة يبدأ في تغيير اتجاه سيره

بشكل حاد قد يسبب له انقلاباً نصفياً ، فهو يتبع نظاماً خاصاً لتجنب العائق اذ يطوى جناحه الأيمن فيرتفع الى اعلا دون ان يحفظ توازنه مما يؤدي الى انقلابه على ظهره بحيث يتجه انفه الى اسفل ، ثم يفرد جناحه ثانياً فيندفع رأسياً الى اسفل ، وبطنه في اتجاه النافذة ، حوالي الاربعة اقدام . وهو يبدأ مناورته الاخيرة هذه عند ما يكون على بعد قدم واحد من النافذة بينما يبدأ في اتباع نظام تجنب العائق وهو على بعد قدمين منها فاذا فرضنا انه يطير بسرعة ٢٥ قدما في الثانية وانه اضاع $\frac{١}{١٠}$ ثانية في التفكير بعد ان تحقق من وجود العائق لتأكد لدينا انه اتخذ قراره بالدوران وهو على بعد اربعة اقدام من النافذة . والدفعة التي يرسلها الخفاش قصيرة جداً حتى يتسنى له إرسالها واستقبالها من عوائق قد يصل قربها منه الى قدم واحد وبذلك تكون لديه الفرصة الكافية لتجنبها .

فلنكتف الآن بهذا القدر من المعلومات عن تلك الصورة الطبيعية من « الرادار فوق الصوتي » كما يراها علماء الحيوان وهيا بنا لنبحث المعلومات اللازمة لتصميم رادار صناعي من هذا النوع . يذكر القارىء انه في الرادار العادي تُرسل سلسلة قصيرة جداً من موجات الراديو (دفعة) فتسري هذه الدفعة في الفراغ بسرعة تبلغ ٣×١٠^{١٠} سم . في الثانية حتى إذا ما صادفت هدفا انعكست منه عائدة كصدى لاسلكي يلتقطه مستقبل الرادار . ولكن سرعة الموجات الصوتية في الهواء تبلغ ٣٤٢٥٠ سم . في الثانية بفرض ان درجة الحرارة في غرفة عادية هي ٢٠ درجة سنتيجراد ، اي ان نسبة سرعة الصوت في الهواء الى سرعة الموجات الاثيرية في الفراغ

هي حوالي ١و١ : ١٠^٦ ، ومعنى ذلك ان بوصة واحدة في المسافة بالنسبة الى الموجات الصوتية تقابل حوالي ١٦ ميلا في المسافة بالنسبة لموجات الراديو . ولذلك لو أردنا صنع نموذج رادار فوق صوتي فإننا نستخدم الخريطة الدولية التي مقياس الرسم فيها ١ : ١٠^٦ لتحل محل المساحة الفعلية من الأرض والماء بالنسبة للرادار الحقيق ، إلا أنه ليس من المستحب ان تتقدم في صنع النموذج محتفظين في كل مرحلة بنسبة القياس السابقة . ولقد جرت العادة في صنع الأجهزة فوق الصوتية على ان يبنى التصميم على أساس خاصية اضمحلال الموجات فوق الصوتية Attenuation في الهواء . وتتلخص هذه الخاصية في ان الموجات فوق الصوتية تضمحل اذا سرت مسافات طويلة ، وتتوقف سرعة ضمحلالها على ترددها . وتقاس شدة الصدى المنعكس بوحدة تسمى « الديسيبل Decibel » (سميت كذلك نسبة الى سير جراهام بل مخترع التليفون) ومعناها ١٠ بل . فاذا وضع جسم له خواص العاكس النموذجي على مسافة اربعة أمتار من مرسل يشع موجات فوق صوتية ترددها ١٠٠ كيلوسيكل في الثانية في اتجاه هذا العاكس على صورة دفعات ، لارتد منه صدى قوته ٢٠ ديسيبل . فإذا خفض التردد الى ٥٠ كيلوسيكل في الثانية — وهو التردد الذي يستخدمه الخفاش — فإن نفس العاكس السابق لو وضع على مسافة ١٢ متراً من المرسل لسبب رجوع صدى قوته ٢٠ ديسيبل أيضا ، وتبلغ شدة المجال المرسل فى الحالة الاخيرة حوالي ٢٠ داين Dynes في السنتيمتر المربع . الا انه رغماً عن هذه المعلومات

فمن اصعب الأمور تحديد حجم اصغر جسم يمكن اكتشافه بواسطة الموجات فوق الصوتية على هذه المسافة.

ولكي نبني نموذجا للرادار فوق الصوتي يلزمنا اولا المرسل والهوائي، والتردد المطلوب هو حوالي ١٠٠ كيلوسيكل في الثانية وهو يتناسب مع موجة طولها ٣٫٣ ملليمتر ، فاذا فتحت في الهوائي فتحة قطرها ٢ سم . لأمكن الحصول على شعاع عرضه ١٠ درجة . ويمكن لصانع النماذج ان يعمل فتحة بهذا المقياس في مستوى واحد باستخدام لوحة كوارتز مسطحة (قطع س) تتذبذب طوليا . ويتوقف طول الدفعة على تردد الموجة الحاملة (١٠٠ كيلوسيكل في الثانية في حالتنا هذه) ولا يجب ان يقل عدد الموجات التي تتركب منها سلسلة الدفعة الواحدة عن عشر موجات كاملة ولو أنه يستحسن أن يكون عددها ثلاثين . ومعنى ذلك أن يكون طول سلسلة الموجات بين ٣ ، ١٠ سم. وان تستمر الدفعة من ٠٫١ الى ٠٫٣ ملليثانية ، ولهذا يجب ان يكون المستقبل مولفا ليستقبل حزمة من الموجات سعتها من ٣ الى ١٠ كيلوسيكل في الثانية ، ولكن اذا استخدم جهاز الاستقبال المنزلي فإنه يمكن زيادة تردد الموجة الحاملة الى ١٥٠ كيلوسيكل وفي هذه الحالة يلزم اجراء تعديل بسيط في دائرة الكشف بالمستقبل لتعمل بالدفعات بدلا من الموجات المستمرة .

وسبق ان عرفنا ان معدل التكرار يتوقف على اقصى مسافة يعمل عليها الرادار كما عرفنا انه لا يجب ارسال دفعة جديدة قبل انتهاء الزمن اللازم لعودة الصدى الخاص بالدفعة السابقة لها من أبعد الاهداف التي

ننتظر أن يشتبك معها ، واستقبال هذا الصدى في مستقبل الرادار .
المعدل المناسب في حالتنا هذه هو حوالي ٥٠ دفعة في الثانية اذا استقر الرأي على اعتبار أن ثلاثة امتار هي أقصى مسافة ينتظر ان يستخدم عليها هذا الرادار فوق الصوتي . ولقد عُرض جهاز رادار يعمل بالموجات فوق الصوتية في معرض عام ١٩٤٦ لجمعية الطبيعيات الانجليزية ، وكان تردد الموجة الحاملة المستخدمة حوالي ١٢ كيلوسيكل في الثانية وهو يتناسب مع موجة طولها ٣ سم. ، الا أن شعاع الموجات المرسلة كان عريضاً نسبياً . وكان طول سلسلة الموجات التي تكون الدفعة ٣٠ سم ، وهذا يعني أن كل دفعة كانت تحتوي عشرة موجات كاملة وتستمر حوالي واحد ملليثانية. ومن الطبيعي أن نتائج استخدام مثل هذا الجهاز كانت تكون أفضل لو أن التردد زيد قليلا اذ ان ذلك يقلل أقصى مسافة يمكن ان يعمل عليها — نظراً لاضمحلال الموجات فوق الصوتية بارتفاع التردد — وبذلك لا تصل الدفعات الى حوائط الغرفة التي بها الجهاز وبالتالي لا ترتد منها اصداء غير مرغوب فيها .

وفي الامكان كذلك صنع جهاز فوق صوتي يعمل في الماء ، وعلى هذا الاساس صنعت بعض أجهزة التدريب على الرادار . كما أن الجهاز المعروف باسم Asdic ما هو الا تطبيق لنظرية سريان الموجات فوق الصوتية في الماء (يعمل هذا الجهاز بارسال موجات فوق صوتية تحت الماء حتى اذا ما اصطدمت بهدف ارتدت منه لتشير الى وجوده) . وتبلغ سرعة الموجات فوق الصوتية في الماء حوالي ١٤٧٥ متراً في الثانية أي أن نسبة مقياس

الرادار الى هذا الجهاز هي ٤ ميل الى البوصة الواحدة . واقصى مسافة لجهاز Asdic هي ٢٥٠٠ ياردة ، فإذا كان الغرض من الجهاز هو الانذار المبكر اختير معدل التكرار ليكون دفعة واحدة كل ثلاثة ثواني . ولا يمكنني أن اجزم بقيمة التردد المستخدم الا انه من الممكن استنتاج رقم تقريبي لو أننا راعينا عوامل الاضمحلال ولذلك فهو يقدر بحوالي ٥ الى ١٠ كيلوسيكل في الثانية أي ان طول الموجة في الماء يكون بين ١٤ ، ٢٨ سم واذا اريد استخدام الجهاز لاكتشاف الأهداف على مسافات قريبة يزاد معدل التكرار بالطبع الى اكثر من دفعة واحدة كل ثلاثة ثواني . وقد يلذ للقاريء ان يعرف ان « النافذة » لها ما يقابلها تحت سطح الماء . فهناك ما يسمى Pellinwerfer (وهي كلمة المانية لم اجد لها ترجمة دقيقة) والغرض منه انتاج اصداء صناعية ترتد الى جهاز Asdic ، وهي عبارة عن كرات مملوءة بمواد كيميائية تسبب حين تختلط بالماء المالح فقاعات كالتى يسببها ملح الفواكه اذا اذيب في الماء ، وهذه الفقاعات تسبب ارتداد الدفعات فوق الصوتية على صورة اصداء صناعية لخداع الجهاز .

ولسوء الحظ ليس في الامكان اكمال هذا الفصل عن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس المسافات بايراد وصف كامل لنظام عملي معمول به . ولكنه (أي هذا الفصل) يوجه القارىء هاوي التجارب اللاسلكية الى ميدان جديد كثر الاقبال عليه في هذه الايام . ويمكن استخدام مهتز متتابع Unsymmetrical multivibrator يُوصل بمهتز Self oscillator لانتاج الدفعات فوق الصوتية المطلوب ارسالها .



خاتمة الكتاب

والآن أتعشم ان يكون هذا الكتاب قد أدى رسالته وأفاد في رسم صورة غير منقوصة للرادار ، وعلى أي الحالات فما هو الا محاولة لتبسيط الرادار ، وعلى القارىء أن يبحث وينقب جرياً وراء معرفة أوسع وا كثر تفصيلاً من وجهة النظر الفنية وليثق بأن المعلومات التي جناها من هـذا الكتاب ستكون له ا كبر معين على تفهم غيرها وعلى تركيز درجة ثقافته الفنية . ولا يسعني ان اختتم هذه الصفحة دون ان اشير الى المساعدات القيمة التي قدمها لي كثير من الزملاء ، ولولا اني لا أحب التخصيص لذكرتهم فرداً فرداً ، كما اني استشرت الكثير من المراجع بل ونقلت من بعضها اليكم عن طريق الكتاب اثمن المعلومات واحدثها ، فشكراً جزيلا اقدمه لاولئك العلماء الذين خطت اياديهم تلك المراجع القيمة .

واخيراً ، فلا بد وان القارىء قد لاحظ بعض الاخطاء المطبعية ، فليقبل عذري نيابة عن اولئك الذين تولوا الطبع ، كما ان هـذه الاخطاء ليست كثيرة بحمد الله وليست بالتي تخل بالمعنى أو تربك القارىء . والى اللقاء انشاء الله على صفحات كتابي القادم ؟


Bibliotheca Alexandrina
0411017